



TESIS - SM 142501

PENERAPAN *MODEL PREDICTIVE CONTROL* (MPC) PADA OPTIMISASI PORTOFOLIO SAHAM

WAWAN HAFID SYAIFUDIN
NRP 1213 201 050

DOSEN PEMBIMBING
Subchan, Ph.D
Endah Rochmati M.P., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



THESIS - SM 142501

APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL (MPC) FOR STOCK PORTFOLIO OPTIMIZATION

WAWAN HAFID SYAIFUDIN
NRP 1213 201 050

SUPERVISORS
Subchan, Ph.D
Endah Rochmati M.P., Ph.D

MASTER'S DEGREE
MATHEMATICS DEPARTMENT
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2015

PENERAPAN MODEL PREDICTIVE CONTROL (MPC) PADA OPTIMISASI PORTOFOLIO SAHAM

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si.)

di

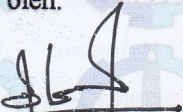
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

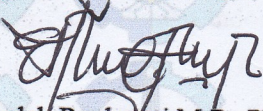
WAWAN HAFID SYAIFUDIN
NRP 1213 201 050

Tanggal Ujian : 8 Mei 2015
Periode Wisuda : September 2015

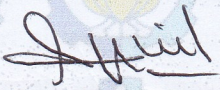
Disetujui oleh:

1. 
Subchan, Ph.D
NIP 19710513 199702 1 001

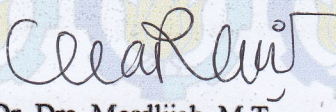
(Pembimbing I)

2. 
Endah Rochmati M.P., Ph.D
NIP 19761213 200212 2 001

(Pembimbing II)

3. 
Prof. Dr. Erna Apriliani, M.Si.
NIP 19660414 199102 2 001

(Penguji)

4. 
Dr. Dra. Mardlijah, M.T.
NIP 19670114 199102 2 001

(Penguji)



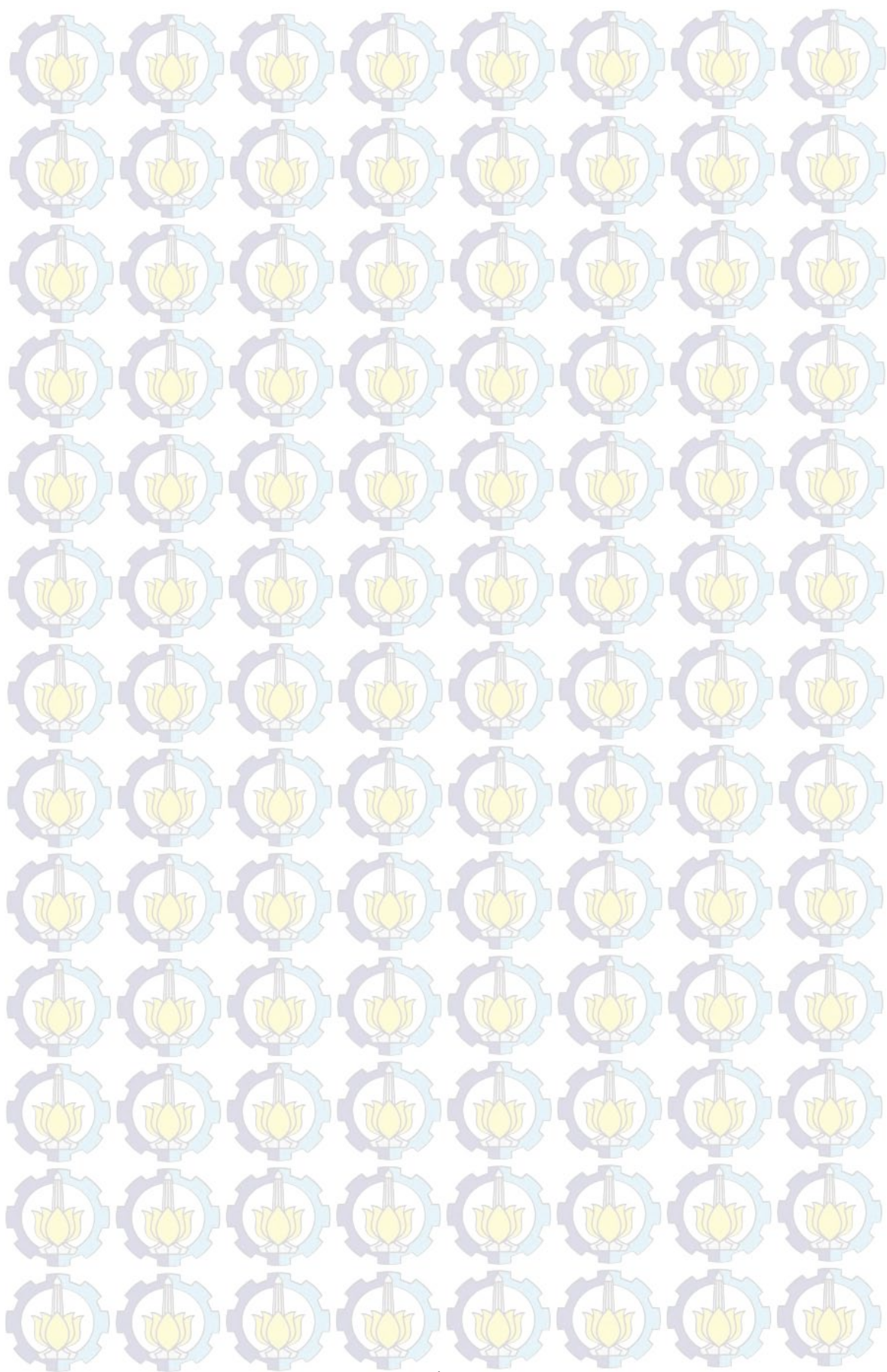
PENERAPAN *MODEL PREDICTIVE CONTROL* (MPC) PADA OPTIMISASI PORTOFOLIO SAHAM

Nama Mahasiswa : Wawan Hafid Syaifudin
NRP : 1213 201 050
Pembimbing : Subchan, Ph.D.
Endah Rochmati M.P., Ph.D

ABSTRAK

Salah satu jenis investasi pada aset finansial adalah saham. Portofolio saham merupakan kumpulan aset yang dimiliki oleh perusahaan maupun perseorangan. Penentuan portofolio saham yang optimal merupakan salah satu hal yang sangat penting bagi kalangan investor. Pada penelitian ini digunakan metode pengendali *model predictive control* (MPC) untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi portofolio saham dengan adanya kendala di dalam pembentukan portofolio saham. Data yang digunakan adalah data saham harian sekunder dari 3 perusahaan (Unilever, Perusahaan Gas Negara, dan Semen Indonesia) yang tergabung dalam *Jakarta Islamic Index* (JII) mulai tanggal 31 Mei 2013 sampai dengan tanggal 30 Mei 2014. Pengendali MPC dapat diterapkan dengan baik pada permasalahan optimisasi portofolio saham. Dari hasil simulasi terlihat bahwa jumlah modal yang dimiliki investor yang merupakan *output* dari sistem menunjukkan peningkatan yang signifikan. Kenaikan ini terjadi karena jumlah modal yang diinvestasikan pada portofolio saham berusaha untuk mencapai *reference trajectory* yang ditetapkan. Selain itu *state* dan *input* dari sistem selalu berada di dalam batas *constraint* yang ditetapkan.

Kata kunci: *model predictive control* (MPC), optimisasi portofolio saham



APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL (MPC) FOR STOCK PORTFOLIO OPTIMIZATION

Name : Wawan Hafid Syaifudin

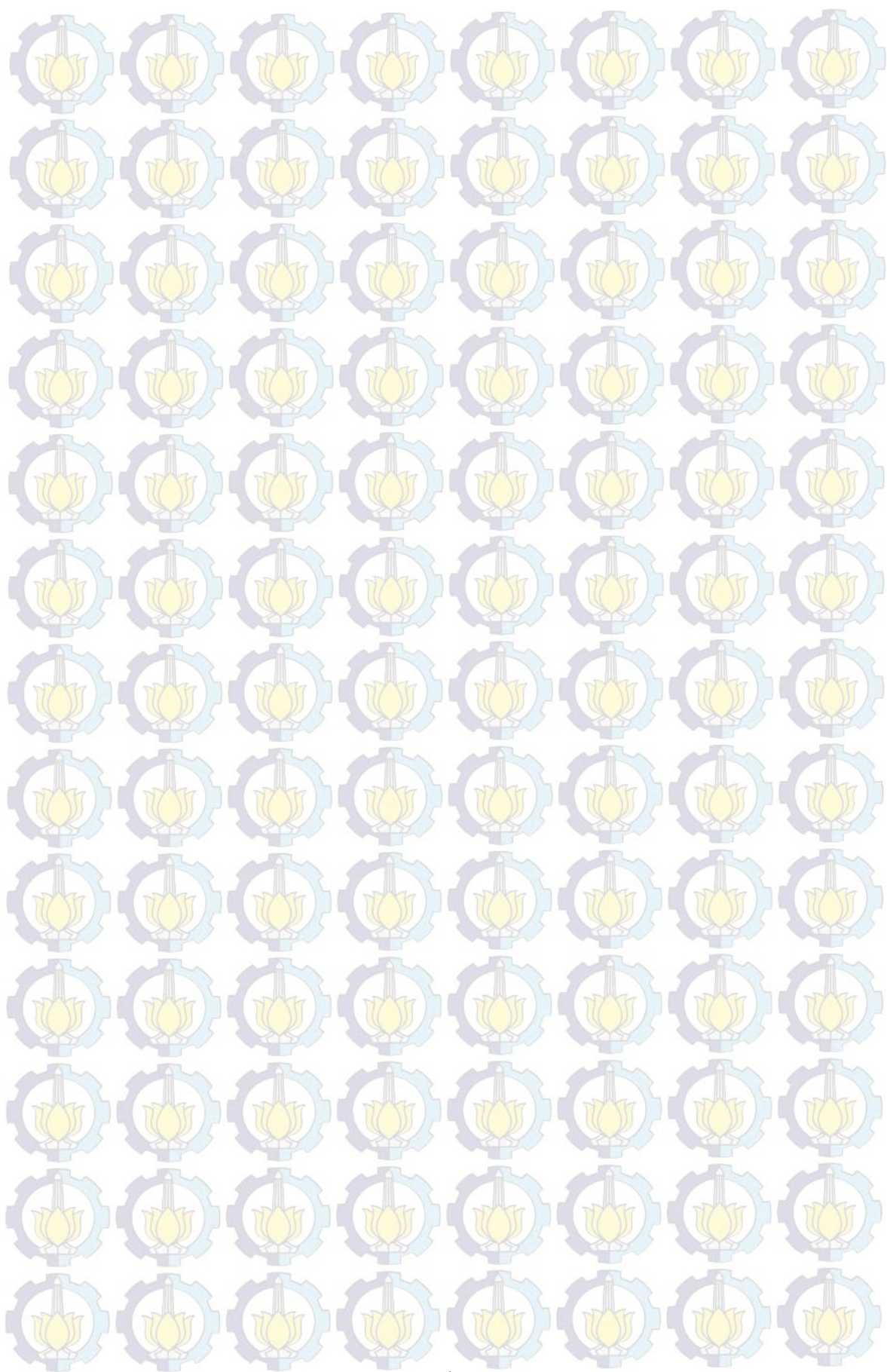
Student ID Number : 1213 201 050

Supervisors : Subchan, Ph.D
Endah Rochmati M.P., Ph.D

ABSTRACT

Stock is a type of investment in financial assets. Stock portfolio is a collection of assets that owned by the company or individual. The determination of the optimal stock portfolio is very important for investor. In this research, we propose model predictive control (MPC) to solve the optimization problems under constraints. A practical application of the solution is implemented on the 3 companies in the Jakarta Islamic Index (JII). The time series represent the data between May 31st of 2013 until May 30th of 2014. The MPC controller can be applied to stock portfolio optimization problem. The simulation results show good performance of the controller in terms of satisfying the state and control constraints. The amount of capital that owned by the investor as the output of system shows a significant increase.

Keywords: model predictive control (MPC), stock portfolio optimization



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan ridha-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul

“PENERAPAN *MODEL PREDICTIVE CONTROL* (MPC) PADA OPTIMISASI PORTOFOLIO SAHAM”

sebagai salah satu syarat kelulusan Program Studi Strata 2 (S-2) Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan baik. Semoga sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing umat-umatnya dari zaman jahiliyah menuju jaman terang benderang yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini tidak lepas dari bantuan serta dukungan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Erna Apriliani, M.Si selaku Ketua Jurusan Matematika FMIPA ITS yang telah memberikan banyak motivasi serta saran kepada penulis.
2. Bapak Dr. Subiono, M.S., selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Matematika ITS.
3. Bapak Subchan, Ph.D dan Ibu Endah Rochmati M.P., Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membantu, membimbing, memberikan masukan serta arahan kepada penulis dalam penyusunan tesis ini.
4. Ibu Prof. Dr. Erna Apriliani, M.Si dan Ibu Dr. Dra. Mardlijah, M.T. selaku Dosen Penguji Tesis yang memberikan saran, masukan, serta bantuan dalam penyelesaian tesis ini.
5. Bapak Dr. Budi Setiyono, S.Si, M.T selaku Dosen Wali penulis.
6. Kedua orang tua, keluarga, saudara, serta seluruh teman-teman penulis yang senantiasa memberi semangat dan do'a kepada penulis dalam penyusunan tesis ini.
7. Bapak/ibu dosen serta seluruh staff Program Studi Pascasarjana Jurusan Matematika ITS.

8. Seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.
Terima kasih atas semua masukan dan bantuan dalam penyelesaian tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam tesis ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat dibutuhkan demi kesempurnaan tesis ini. Akhirnya penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Mei 2015

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Investasi.....	6
2.3 Portofolio.....	6
2.4 <i>Return</i> dalam Investasi.....	6
2.5 Manajemen Portofolio Saham.....	7
2.6 Kendala pada Portofolio saham.....	10
2.7 Aplikasi Kontrol di Bidang Keuangan.....	11
2.8 <i>Model Predictive Control</i> (MPC)	12
2.8.1 <i>Model Predictive Control</i> (MPC) Linier.....	13
2.8.2 Fungsi Kriteria Pada <i>Model Predictive Control</i> (MPC).....	14
2.8.3 Optimisasi Pada <i>Model Predictive Control</i> (MPC) Linier.....	15
2.9 <i>Jakarta Islamic Index</i> (JII).....	15
BAB 3 METODA PENELITIAN	19

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 21

4.1 Pemodelan Matematika pada Manajemen dan Kendala Portofolio Saham..... 21

4.2 Penerapan MPC Pada Optimisasi Portofolio Saham.....22

4.2.1 Inisialisasi Awal 22

4.2.2 Perhitungan Kendala pada Portofolio saham..... 24

4.2.3 Prediksi Kontrol Optimal Dengan MPC 25

4.2.4 Portofolio Saham yang Optimal..... 27

4.3 Hasil Simulasi pada Optimisasi Portofolio Saham dengan Pinjaman.....27

4.3.1 Hasil Simulasi Portofolio Saham dengan Pinjaman pada Hari ke-3 sampai Hari ke-10.....31

4.3.2 Hasil Simulasi Portofolio Saham dengan Pinjaman pada Hari ke-53 sampai Hari ke-60.....36

4.3.3 Hasil Simulasi Portofolio Saham dengan Pinjaman pada Hari ke-177 sampai Hari ke-184.....40

4.4 Hasil Simulasi pada Optimisasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman.....46

4.4.1 Hasil Simulasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman pada Hari ke-12 sampai Hari ke-19.....51

4.4.2 Hasil Simulasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman pada Hari ke-68 sampai Hari ke-75.....55

4.4.3 Hasil Simulasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman pada Hari ke-146 sampai Hari ke-153.....59

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 67

5.1 Kesimpulan..... 67

5.2 Saran.....68

DAFTAR PUSTAKA 69

LAMPIRAN 71

A. Data Saham Harian Unilever..... 71

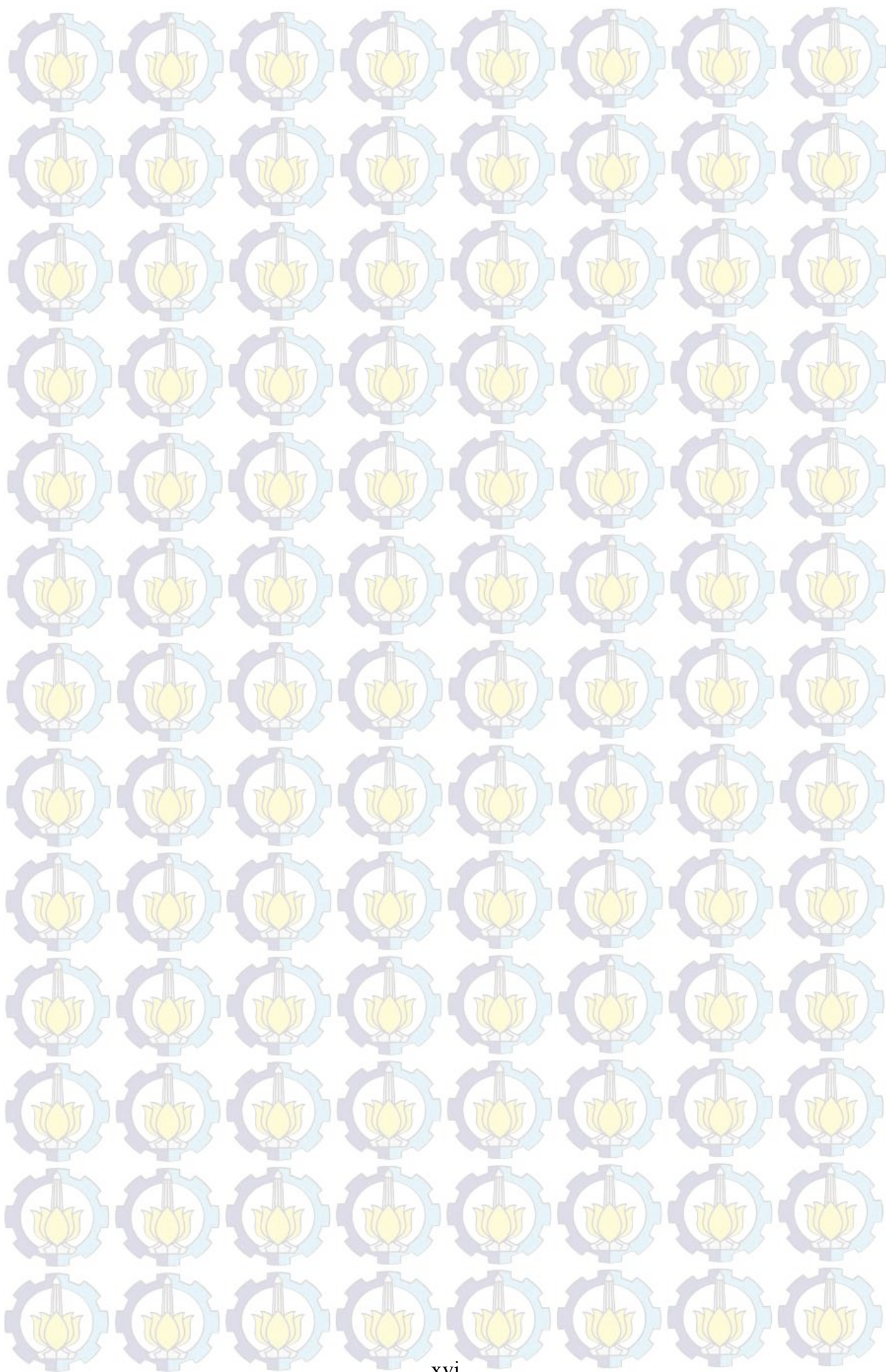
B. Data Saham Harian Perusahaan Gas Negara 77

C. Data Saham Harian Semen Indonesia83

BIODATA PENULIS 89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hubungan antara variabel kontrol sistem dengan variabel portofolio.....	11
Tabel 4.1 Data parameter portofolio saham.....	23
Tabel 4.2 Harga dan <i>return</i> saham harian serta total modal investor pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8.....	34
Tabel 4.3 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3, x_4, x_5$, dan v pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8.....	35
Tabel 4.4 Harga dan <i>return</i> saham harian serta total modal investor pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58.....	39
Tabel 4.5 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3, x_4, x_5$, dan v pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58.....	39
Tabel 4.6 Harga dan <i>return</i> saham harian serta total modal investor pada hari ke-179 sampai dengan hari ke-182.....	43
Tabel 4.7 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3, x_4, x_5$, dan v pada hari ke-179 sampai dengan hari ke-182.....	44
Tabel 4.8 Harga dan <i>return</i> saham harian serta total modal investor pada hari ke-14 sampai dengan hari ke-17.....	54
Tabel 4.9 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3$, dan x_4 pada hari ke-14 sampai dengan hari ke-17.....	54
Tabel 4.10 Harga dan <i>return</i> saham harian serta total modal investor pada hari ke-70 sampai dengan hari ke-73.....	58
Tabel 4.11 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3$, dan x_4 pada hari ke-70 sampai dengan hari ke-73.....	58
Tabel 4.12 Harga dan <i>return</i> saham harian serta total modal investor pada hari ke-148 sampai dengan hari ke-151.....	62
Tabel 4.13 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3$, dan x_4 pada hari ke-148 sampai dengan hari ke-151.....	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem kontrol dengan <i>feedback</i>	11
Gambar 2.2 Struktur dasar MPC.....	12
Gambar 2.3 Kalkulasi keluaran proses dan pengendali terprediksi.....	13
Gambar 4.1 <i>Return</i> saham harian pada tiga perusahaan.....	28
Gambar 4.2 Nilai p_1 dan q_1 di dalam portofolio saham dengan pinjaman	28
Gambar 4.3 Nilai p_2 dan q_2 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	29
Gambar 4.4 Nilai p_3 dan q_3 di dalam portofolio saham dengan pinjaman	29
Gambar 4.5 Nilai v di dalam portofolio saham dengan pinjaman	29
Gambar 4.6 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	30
Gambar 4.7 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko serta pinjaman di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	31
Gambar 4.8 Nilai p_1 dan q_1 untuk hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	32
Gambar 4.9 Nilai p_2 dan q_2 untuk hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	32
Gambar 4.10 Nilai p_3 dan q_3 untuk hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	32
Gambar 4.11 Nilai v pada untuk ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	33
Gambar 4.12 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	33
Gambar 4.13 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko dan pinjaman hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	33
Gambar 4.14 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	34
Gambar 4.15 Nilai p_1 dan q_1 untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	36
Gambar 4.16 Nilai p_2 dan q_2 untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	36

Gambar 4.17 Nilai p_3 dan q_3 untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	37
Gambar 4.18 Nilai v untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	37
Gambar 4.19 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	37
Gambar 4.20 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko dan pinjaman hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	38
Gambar 4.21 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	38
Gambar 4.22 Nilai p_1 dan q_1 untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	41
Gambar 4.23 Nilai p_2 dan q_2 untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	41
Gambar 4.24 Nilai p_3 dan q_3 untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	41
Gambar 4.25 Nilai v untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	42
Gambar 4.26 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	42
Gambar 4.27 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko dan pinjaman hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	42
Gambar 4.28 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	43
Gambar 4.29 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	45
Gambar 4.30 Nilai p_1 dan q_1 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman	49
Gambar 4.31 Nilai p_2 dan q_2 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	49
Gambar 4.32 Nilai p_3 dan q_3 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman	49
Gambar 4.33 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	50
Gambar 4.34 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....	50

Gambar 4.35 Nilai p_1 dan q_1 untuk hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	51
Gambar 4.36 Nilai p_2 dan q_2 untuk hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	52
Gambar 4.37 Nilai p_3 dan q_3 untuk hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	52
Gambar 4.38 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	52
Gambar 4.39 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	53
Gambar 4.40 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	53
Gambar 4.41 Nilai p_1 dan q_1 untuk hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	55
Gambar 4.42 Nilai p_2 dan q_2 untuk hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	56
Gambar 4.43 Nilai p_3 dan q_3 untuk hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	56
Gambar 4.44 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	56
Gambar 4.45 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	57
Gambar 4.46 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	57
Gambar 4.47 Nilai p_1 dan q_1 untuk hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	59
Gambar 4.48 Nilai p_2 dan q_2 untuk hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	60
Gambar 4.49 Nilai p_3 dan q_3 untuk hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	60
Gambar 4.50 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	60
Gambar 4.51 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....	61

Gambar 4.52 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....61

Gambar 4.53 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....63

Gambar 4.54 Perbandingan jumlah seluruh modal investor pada portofolio saham dengan pinjaman dan tanpa pinjaman.....64

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada Bab 1 ini dibahas mengenai latar belakang yang mendasari penelitian pada tesis ini. Dari informasi tersebut, selanjutnya dibuat rumusan masalah, tujuan, dan manfaat dari penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir ini, pasar modal Indonesia menjadi perhatian banyak pihak, khususnya masyarakat bisnis. Kegiatan pasar modal yang semakin berkembang serta meningkatnya keinginan masyarakat bisnis untuk mencari alternatif sumber pembiayaan usaha selain bank adalah beberapa hal yang menjadi alasannya. Tiap-tiap perusahaan dapat menerbitkan dan menjual sahamnya di pasar modal untuk mendapatkan dana yang diperlukan, tanpa harus membayar beban bunga tetap. Selain itu, meningkatnya keinginan masyarakat untuk menjadi investor juga turut mempengaruhi perkembangan pasar modal.

Pasar modal menjadi wahana alternatif bagi masyarakat untuk berinvestasi selain investasi riil. Hal ini dilakukan sejalan dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat yang tidak lagi berbentuk kebutuhan pokok saja. Penghasilan masyarakat yang diperoleh sekarang disisihkan dan digunakan untuk berinvestasi. Diharapkan hasil investasi tersebut dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat di masa yang akan datang.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi peran pasar modal sebagai wahana alternatif bagi masyarakat bisnis untuk berinvestasi. Salah satu faktor yang menentukan adalah tingkat kemampuan investor memilih saham secara rasional. Rasionalitas investor dapat diukur dari cara mereka dalam memilih saham yang memberikan *return* maksimum pada tingkat risiko tertentu atau mempunyai risiko minimum pada tingkat *return* tertentu. Langkah pendekatan yang dapat dilakukan oleh para investor adalah dengan melakukan penghitungan dalam pemilihan dan penentuan portofolio serta pola perilaku investor di bursa dalam transaksi jual beli saham. Cara seperti ini disebut sebagai strategi investasi aktif.

Portofolio merupakan kombinasi atau gabungan atau sekumpulan aset, baik berupa aset finansial maupun aset riil yang dimiliki oleh investor [1]. Penentuan portofolio saham yang optimal merupakan sesuatu yang sangat penting bagi kalangan investor. Portofolio saham

yang optimal akan menghasilkan *return* yang optimal dengan risiko yang dapat dipertanggungjawabkan.

Permasalahan optimisasi portofolio saham pada dasarnya merupakan permasalahan dinamis yang melibatkan dinamika stokastik dari harga asset yang terus berkembang. Selain itu, terdapat beberapa permasalahan kontrol di dalam alokasi portofolio yang digunakan untuk mengontrol kekayaan/modal dari investor. Beberapa kendala yang megikutinya antara lain adalah pembagian alokasi dana yang terbatas, batasan jumlah pinjaman yang diperkenankan, dan lainnya.

Salah satu metode kontrol yang dapat digunakan dalam mengatasi kendala pada sebuah sistem adalah *model predictive control* (MPC). Tipe pengendali ini termasuk dalam kategori pengendali berbasis model proses, yaitu model proses digunakan secara eksplisit untuk mendesain pengendali, dengan meminimumkan suatu fungsi kriteria. Selain itu, MPC dapat menggabungkan semua tujuan menjadi fungsi objektif tunggal serta optimisasi yang diberikan sangat efektif untuk menangani sistem yang memiliki kendala pada *input* dan *state* [2]. MPC banyak digunakan dalam bidang industri. Salah satu alasan utama keberhasilan MPC pada aplikasi dalam bidang industri adalah kemampuan dalam menerapkan berbagai jenis kendala pada proses. Keunggulan dari metode MPC adalah kemampuannya dalam mengatasi kendala pada variabel kontrol dan variabel *state*.

Dalam penelitian ini *model predictive control* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi portofolio saham, sehingga nantinya didapatkan portofolio saham yang optimal dari kumpulan saham yang dijadikan objek penelitian.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijelaskan di atas, permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penerapan *model predictive control* (MPC) pada permasalahan optimisasi portofolio saham?
2. Bagaimana hasil simulasi dari penerapan *model predictive control* pada optimisasi portofolio saham dengan menggunakan *software* MATLAB?

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Portofolio saham dibentuk dari aset finansial berupa saham, jumlah tabungan investor di bank, serta jumlah pinjaman investor.

2. Data yang digunakan adalah data saham harian sekunder dari 3 perusahaan yang tergabung di dalam *Jakarta Islamic Index* (JII) yaitu Unilever, Perusahaan Gas Negara (PGN), dan Semen Indonesia mulai tanggal 31 Mei 2013 sampai dengan tanggal 30 Mei 2014.
3. Pembagian dividen tidak dimasukkan dalam perhitungan.
4. Investor tidak diperkenankan melakukan *short selling* selama periode investasi.
5. Pada saat investasi portofolio berlangsung, perekonomian negara dalam keadaan normal, misalnya tidak dalam kondisi krisis moneter yang mengakibatkan harga ketiga saham yang dijadikan objek penelitian turun drastis.

1.4 Tujuan Penelitian

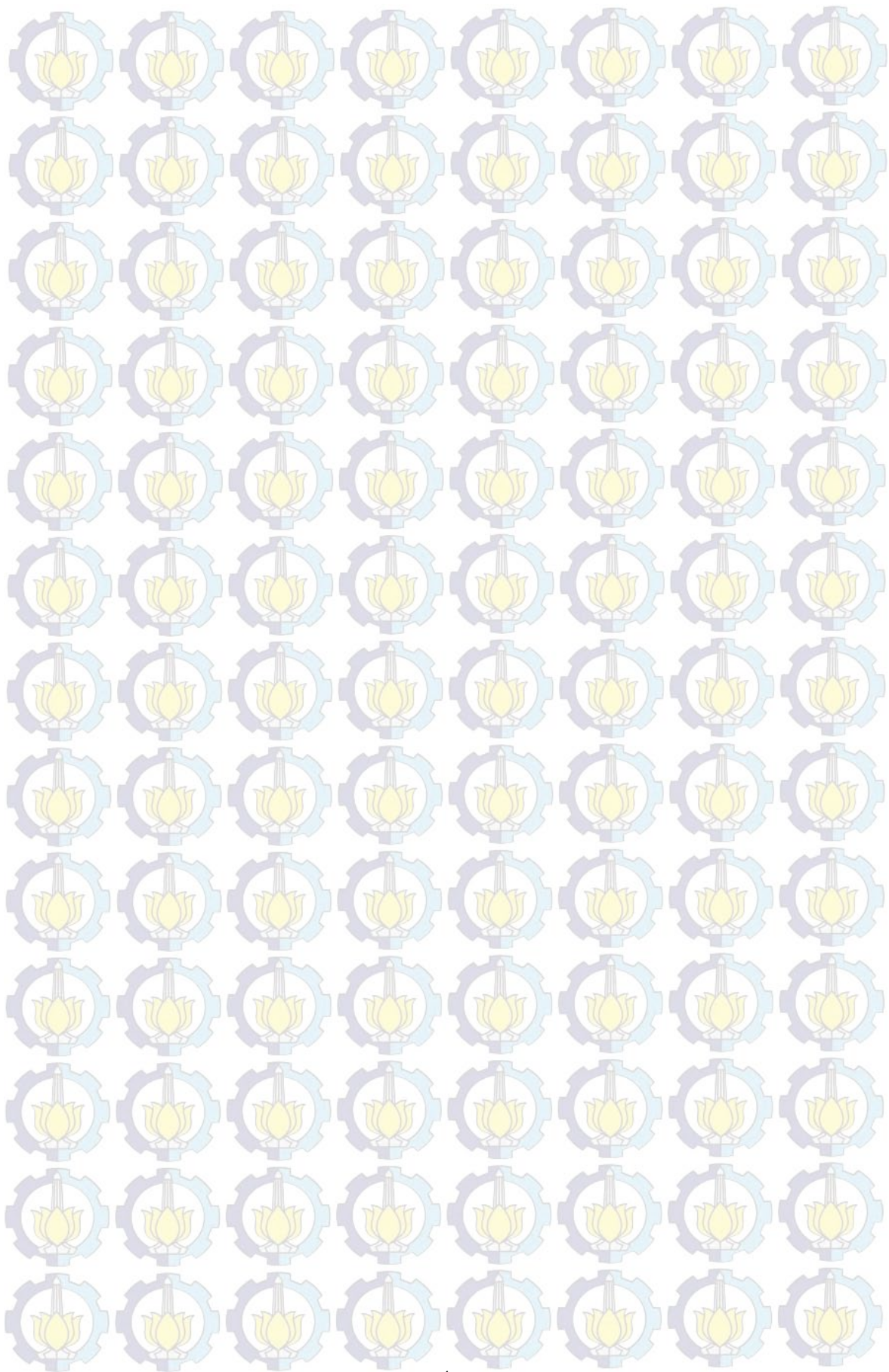
Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Menerapkan *model predictive control* (MPC) pada permasalahan optimisasi portofolio saham.
2. Mengetahui hasil simulasi dari penerapan *model predictive control* pada optimisasi portofolio saham.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Suatu bentuk kontribusi dalam pengembangan ilmu matematika terapan di bidang kontrol dan keuangan, khususnya aplikasi *model predictive control* (MPC) pada permasalahan optimisasi portofolio saham.
2. Hasil yang didapatkan dari hasil simulasi diharapkan dapat dijadikan rujukan dalam penelitian di bidang manajemen portofolio, khususnya dalam permasalahan optimisasi portofolio saham.



BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan beberapa kajian pustaka dan dasar teori yang dikaji untuk digunakan dalam pembahasan selanjutnya, diantaranya adalah: penelitian sebelumnya yang dijadikan dasar untuk melakukan penelitian yang diusulkan, investasi, portofolio, *return* dalam investasi, manajemen portofolio saham, kendala pada portofolio saham, aplikasi kontrol di bidang keuangan, *model predictive control*, dan *Jakarta Islamic Index* (JII).

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai aplikasi dari *model predictive control* (MPC) telah banyak dilakukan pada berbagai bidang keilmuan. Salah satunya adalah penerapan MPC pada kendali haluan kapal yang dilakukan oleh Subchan, dkk.[3]. Pada penelitian tersebut, pengendali MPC dapat diterapkan dengan baik pada kendali haluan kapal, dimana *state* dan *input* dari sistem berada dalam batas *constraint* yang diberikan dan gerakan dari kapal dapat mengikuti *reference trajectory* yang diinginkan. Penelitian lain yang berkaitan dengan penerapan MPC dilakukan oleh Yuninda, yaitu pengendalian kadar glukosa penderita diabetes mellitus tipe 1 berbasis metode aktif set MPC [4]. Pada penelitian tersebut, pengendali MPC diterapkan pada proses pengendalian laju insulin bagi penderita penyakit diabetes melitus tipe I. Dari hasil simulasi, terlihat bahwa kontrol pada sistem berada dalam batasan *constraint* yang telah ditetapkan. Pada bidang industri, Seki, dkk. menerapkan MPC pada proses industri kimia, yaitu pada reaktor polimerisasi [5].

Penelitian terkait portofolio sendiri pertama kali dilakukan oleh Markowitz pada tahun 1952. Ia memperkenalkan teori pemilihan portofolio optimal, dimana portofolio tersebut mampu memberikan *expected return* yang maksimum sekaligus meminimumkan varians. Teori ini kemudian berkembang menjadi teori portofolio yang dikenal dengan istilah *mean variance efficiency* (MV) portofolio [6]. Penelitian lainnya yang berkaitan dengan optimisasi portofolio dilakukan oleh Primbs. Dalam penelitiannya, ia menggunakan *stochastic receding horizon* dalam menyelesaikan permasalahan optimisasi portofolio [7].

Dari kajian penelitian-penelitian sebelumnya tersebut, maka dalam penelitian ini diajukan metode pengendali *model predictive control* (MPC) pada permasalahan optimisasi portofolio saham agar didapatkan portofolio saham yang optimal.

2.2 Investasi

Investasi merupakan penempatan sejumlah dana pada saat ini dengan harapan untuk memperoleh keuntungan di masa mendatang. Pada umumnya investasi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu investasi pada aset finansial dan investasi pada aset riil [1]. Investasi pada aset finansial dilakukan di pasar uang, misalnya berupa deposito, *commercial paper*, surat berharga, pasar uang dan lainnya, atau dapat juga dilakukan di pasar modal misalnya berupa saham, obligasi, waran, opsi, dan lainnya. Sedangkan investasi pada aset riil diwujudkan dalam bentuk pembelian aset produktif, pendirian pabrik, pembukaan pertambangan, pembukaan perkebunan, dan lainnya. Salah satu bentuk investasi dalam pasar modal yang paling diminati oleh masyarakat bisnis saat ini adalah saham.

Saham merupakan salah satu aset yang beresiko atau aset yang tingkat pengembalian di masa mendatang masih mengandung ketidakpastian. Ketidakpastian dalam investasi saham membuat konteks *return* dan *risk* (risiko) menjadi pertimbangan dalam manajemen investasi saham. Pertimbangan yang dilakukan investor adalah memperoleh *return* tertentu dengan *risk* terendah, atau *risk* tertentu dengan tingkat *return* tertinggi [8]. Untuk mengantisipasi fluktuasi dari nilai *return* dan *risk* yang ada, investor biasanya melakukan investasi di beberapa saham atau portofolio saham dengan harapan fluktuasi dari *return* saham-saham yang terbentuk di portofolio tidak terlalu tajam.

2.3 Portofolio

Portofolio merupakan kombinasi atau gabungan atau sekumpulan aset, baik berupa aset finansial maupun aset riil yang dimiliki oleh investor. Tujuan pembentukan portofolio adalah untuk mengurangi resiko dengan cara diversifikasi, yaitu mengalokasikan sejumlah dana pada berbagai alternatif investasi [1]. Dalam pembentukan portofolio investor cenderung menginginkan *return* yang maksimal dengan resiko yang minimal.

2.4 Return dalam Investasi

Dalam konteks manajemen investasi, *return* merupakan imbalan yang diperoleh dari investasi. *Return* sebagai hasil dari investasi dapat berupa *return* realisasi (*realized return*) maupun *return* yang diharapkan (*expected return*) [1]. *Realized return* merupakan *return* yang telah terjadi, dihitung berdasarkan data historis. *Return* ini penting karena digunakan sebagai salah satu pengukur kinerja suatu perusahaan. Sedangkan *expected return* adalah *return* yang diharapkan diperoleh investor di masa yang akan datang. *Return* portofolio

saham merupakan hasil atau keuntungan yang diperoleh investor dari setiap alternatif investasi, dan dapat berasal dari:

1. *Yield* adalah *return* yang merupakan komponen dasar dari suatu investasi, berupa *cash flow* yang diterima secara periodik dan biasanya disebut dividen. Besarnya *yield* bisa positif, nol atau negatif.
2. *Capital gain* atau *capital loss* adalah *return* yang diperoleh investor yang berasal dari perubahan harga aset-aset yang dipegangnya. Apabila perubahan harga tersebut positif maka disebut *capital gain*, sedangkan bila perubahan harga tersebut negatif disebut *capital loss*.

Return saham dapat dihitung berdasarkan data historis. Untuk menghitung *return* saham dapat digunakan rumus berikut ini [9]:

$$R_t = \frac{S_t - S_{t-1}}{S_{t-1}} \quad (2.1)$$

dengan

R_t = *return* saham untuk waktu t

S_t = harga saham untuk waktu t

S_{t-1} = harga saham untuk waktu $t-1$.

2.5 Manajemen Portofolio Saham

Investasi pada aset finansial merupakan penempatan sejumlah dana pada kontrak finansial dengan harapan untuk memperoleh keuntungan di masa mendatang. Setiap investasi pada aset finansial pasti mengandung risiko, khususnya dalam investasi saham. Oleh karena itu semakin besari risiko yang harus ditanggung oleh investor, semakin besar pula *return* yang akan diperoleh. Ketika portofolio saham dipilih, hal utama yang perlu diperhatikan adalah mekanisme atau aturan dalam manajemen portofolio saham tersebut. Pada bagian ini dijelaskan model matematika dari manajemen portofolio saham.

Pada awal waktu, seorang investor memiliki sejumlah modal yang dapat digunakan untuk berinvestasi pada i aset, dengan $i = 1, 2, \dots, n$. Secara umum modal yang dimaksud dalam hal ini adalah uang yang dimiliki oleh investor yang diinvestasikan pada i saham. Selain itu kekayaan investor juga berasal dari aset bebas risiko, yaitu aset yang terdapat di bank yang menghasilkan *yield*. Aset investor yang terdapat di bank selanjutnya disebut aset ke- $n+1$. Berikutnya, ketika seorang investor memutuskan untuk meminjam sejumlah dana yang akan

digunakan untuk berinvestasi, maka aset ini disebut aset ke- $n+2$ atau disebut dengan pinjaman modal. Seorang investor harus memutuskan bagaimana cara untuk mengatur ulang portofolio sahamnya setiap hari dengan tujuan untuk mendapatkan *return* yang maksimal pada investasinya.

Model manajemen portofolio untuk n aset dapat dituliskan sebagai berikut [10]:

$$x_i(k+1) = [1 + \eta_i(k)][x_i(k) + p_i(k) - q_i(k)], i = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

dengan

$\eta_i(k)$ = *return* dari aset ke- i

$p_i(k)$ = jumlah transfer dari aset bebas risiko ke aset berisiko ke- i

$q_i(k)$ = jumlah transfer dari aset berisiko ke- i ke aset bebas risiko

$x_i(k)$ = jumlah modal yang diinvestasikan oleh investor pada aset berisiko ke- i

$p_i(k) > 0$ dan $q_i(k) > 0$.

Biaya transaksi yang dibayarkan didefinisikan sebagai α dan β , di mana masing-masing menunjukkan biaya transaksi dalam pembelian dan biaya transaksi dalam penjualan saham. Persamaan (2.3) menunjukkan perubahan dari aset bebas risiko.

$$x_{n+1}(k+1) = [1 + r_1(k)][x_{n+1}(k) + v(k) - (1 - \alpha) \sum_{i=1}^n p_i(k) + (1 - \beta) \sum_{i=1}^n q_i(k)] \quad (2.3)$$

dengan

$r_1(k)$ = tingkat suku bunga bank

$v(k)$ = transfer antara rekening aset bebas risiko dan rekening pinjaman modal.

Apabila $v(k) > 0$ menunjukkan bahwa investor meminjam modal, dan apabila $v(k) < 0$ menunjukkan bahwa investor membayar kredit pinjaman. Perubahan dari pinjaman modal investor dapat dituliskan sebagai berikut

$$x_{n+2}(k+1) = [1 + r_2(k)][x_{n+2}(k) + v(k)] \quad (2.4)$$

dengan $r_2(k)$ menunjukkan bunga dari pinjaman modal.

Berdasarkan penjelasan yang telah diuraikan di atas, jumlah seluruh modal dari seorang investor dalam portofolio saham dapat dituliskan sebagai berikut

$$V(k) = \sum_{i=1}^{n+1} x_i(k) - x_{n+2}(k). \quad (2.5)$$

Seperti yang terlihat pada Persamaan (2.5), jumlah modal dari investor merupakan penjumlahan dari kekayaan investor pada aset-aset berisiko serta aset bebas risiko yang dimiliki oleh investor dan dikurangi dengan pinjaman modal.

Pada pemodelan matematika dari manajemen portofolio saham, didefinisikan variabel *state* sistem adalah $\tilde{\mathbf{x}}$, yang meliputi x_1, \dots, x_n, x_{n+1} , dan x_{n+2} . Variabel x_1, \dots, x_n menunjukkan jumlah modal yang diinvestasikan oleh investor pada aset berisiko (saham) ke-1 sampai dengan ke- n . Variabel x_{n+1} dan x_{n+2} masing-masing menunjukkan jumlah modal investor pada aset bebas risiko (bank) serta jumlah pinjaman. Variabel kontrol didefinisikan sebagai $\tilde{\mathbf{u}}$ yang meliputi p_i, q_i dan v , dengan $i = 1, 2, \dots, n$. Variabel *output* sistem didefinisikan sebagai $\tilde{\mathbf{y}}$ yang merupakan jumlah seluruh modal yang dimiliki oleh investor. Berdasarkan keterangan tersebut serta dengan menggunakan Persamaan (2.2) sampai dengan Persamaan (2.5), maka dapat dibentuk persamaan ruang keadaan diskrit sebagai berikut:

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1) = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}(k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k) \quad (2.6)$$

$$\tilde{\mathbf{y}}(k) = \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}(k) \quad (2.7)$$

dengan

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1) = \begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ \vdots \\ x_n(k+1) \\ x_{n+1}(k+1) \\ x_{n+2}(k+1) \end{bmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{u}}(k) = \begin{bmatrix} p_1(k) \\ \vdots \\ q_1(k) \\ \vdots \\ v(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 + \eta_1(k) & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 + \eta_i(k) & 0 & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 1 + r_1(k) & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 + r_2(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 + \eta_1(k) & \cdots & 0 & -(1 + \eta_1(k)) & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 + \eta_i(k) & 0 & \cdots & -(1 + \eta_i(k)) & 0 \\ (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & \cdots & (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & \cdots & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & 1 + r_1(k) \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 + r_2(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C} = [1 \ \dots \ 1 \ -1].$$

2.6 Kendala pada Portofolio Saham

Pada permasalahan optimisasi portofolio saham didefinisikan beberapa kendala sebagai berikut [10]:

$$p_i(k) \geq 0, \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.8)$$

$$q_i(k) \geq 0, \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.9)$$

Selain itu, variabel *state* x_{n+1} yang merupakan jumlah modal yang dimiliki oleh investor di bank tidak mungkin bernilai negatif, sehingga didefinisikan kendala untuk variabel *state* x_{n+1} adalah sebagai berikut:

$$x_{n+1}(k) + v(k) - (1+\alpha) \sum_{i=1}^n p_i(k) + (1-\beta) \sum_{i=1}^n q_i(k) \geq 0. \quad (2.10)$$

Jumlah pinjaman modal yang disimbolkan dengan x_{n+2} memberikan kesempatan kepada investor untuk mendapatkan tambahan modal dengan tingkat bunga tertentu. Namun jumlah pinjaman yang diperbolehkan seharusnya dibatasi. Jumlah pinjaman modal haruslah lebih besar dari 0 dan memiliki nilai maksimum $d_0(k)$. Dengan demikian dapat didefinisikan kendala untuk *state* x_{n+2} adalah sebagai berikut:

$$x_{n+2}(k) + v(k) \geq 0 \quad (2.11)$$

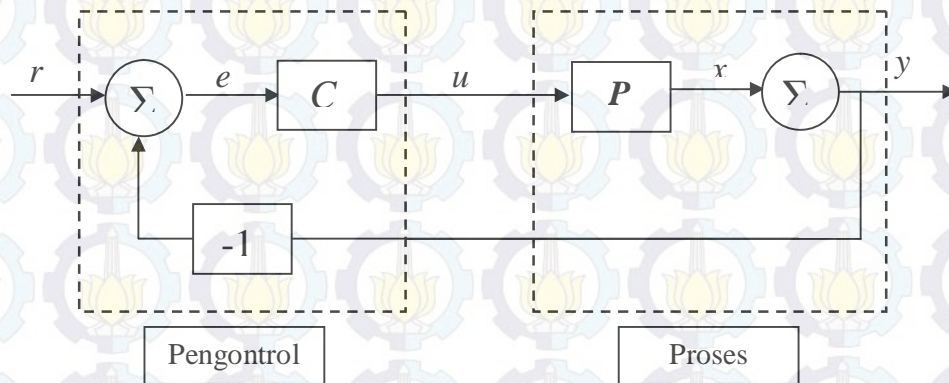
$$x_{n+2}(k) + v(k) \leq d_0(k). \quad (2.12)$$

Pada perdagangan saham dikenal pula istilah *short selling*, yaitu suatu cara yang digunakan dalam penjualan saham di mana para investor meminjam dana untuk menjual saham (yang belum dimiliki) dengan harga tinggi dan investor akan membelinya kembali saat harga saham turun. Namun dalam penelitian ini *short selling* tidak diperkenankan, sehingga didefinisikan kendala pada *short selling* sebagai berikut:

$$x_i(k) + p_i(k) - q_i(k) \geq 0. \quad (2.13)$$

2.7 Aplikasi Kontrol di Bidang Keuangan

Bentuk umum dari sistem kontrol secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.1 [11].



Gambar 2.1. Sistem kontrol dengan *feedback*

Sistem tersebut dibagi ke dalam dua blok, dengan P merepresentasikan proses di dalam sistem dan C merepresentasikan pengontrol. Pertama-tama diberikan sinyal referensi r yang menunjukkan nilai yang diinginkan dari variabel *output* y , *feedback* direpresentasikan dengan nilai -1 , dan sinyal e adalah eror yang terjadi akibat perbedaan nilai antara nilai yang diinginkan (r) dengan *feedback* dari proses. Kemudian pengontrol (C) bekerja untuk meminimalkan eror tersebut, dan menghasilkan sinyal kontrol u . Sinyal kontrol ini kemudian masuk ke dalam blok proses dan menghasilkan *state* x . Perhitungan ini berlangsung seterusnya dan berulang-ulang [11].

Tabel 2.1 Hubungan antara variabel kontrol sistem dengan variabel portofolio

Variabel Kontrol	Variabel Portofolio
r	Jumlah seluruh aset yang diinginkan oleh investor
e	Selisih antara jumlah aset yang diinginkan dengan jumlah aset sebenarnya dari portofolio
u	Transfer antara aset bebas risiko dan aset berisiko
P	Persamaan matematika dalam manajemen portofolio (Persamaan (2.2)-Persamaan (2.5))
C	Pengontrol
-1	<i>Feedback Control</i>

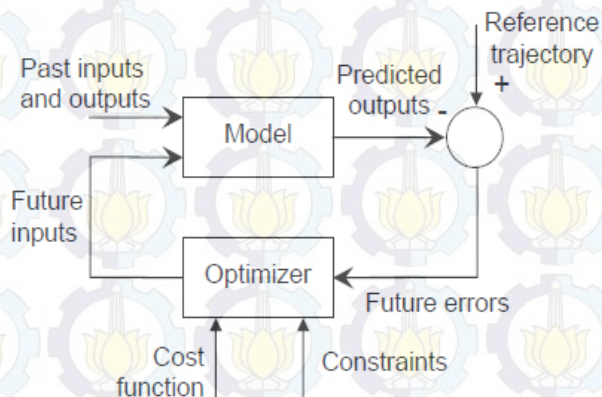
Berdasarkan model yang dijelaskan pada Bab 2.5, variabel-variabel dari model manajemen portofolio yang berkaitan dengan variabel kontrol dapat dijelaskan melalui Tabel 2.1. Strategi kontrol dalam menyelesaikan permasalahan ini terdapat dalam blok diagram C, ada cukup banyak metode kontrol yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini. Salah satunya adalah *model predictive control* yang akan dijelaskan pada Bab 2.8.

2.8 Model Predictive Control (MPC)

Model predictive control atau MPC adalah suatu metode proses kontrol lanjutan yang banyak diterapkan pada proses industri. Dari sekian banyak algoritma *multivariable control*, MPC adalah salah satunya [2].

Berikut adalah beberapa keuntungan dari *model predictive control* [4]:

- Dapat memperhitungkan batasan (*constraint*) pada sistem dalam merancang pengendali.
- Dapat menangani sistem *multivariable*.
- Mempunyai kemampuan pengendali *feed forward* untuk mengkompensasi gangguan yang terukur.



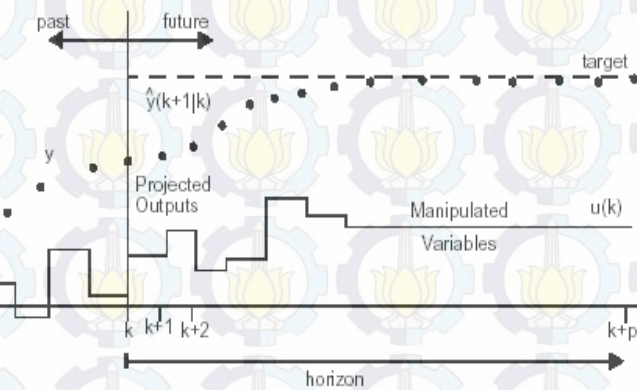
Gambar 2.2 Struktur dasar MPC [4]

Langkah kerja dari MPC seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 dapat diilustrasikan sebagai berikut: awalnya, sistem telah memiliki model dari *plant*. Data *input* dan *output* sebelumnya masuk melalui *port input* MPC. Dari *input* dan *output* ini dilakukan estimasi berdasarkan model *plant* yang telah didefinisikan sebelumnya. Estimasi ini menghasilkan output yang disebut *predicted output* yang kemudian nilainya dibandingkan dengan *reference trajectory*. Dari hasil perbandingan ini, akan diperoleh kesalahan yang disebut *future error*. *Future error* ini kemudian masuk ke dalam blok *optimizer*. Di sini, *optimizer* berfungsi untuk bekerja di dalam rentang *constraint* yang telah diberikan dengan tujuan untuk meminimalkan

cost function, yang merupakan fungsi kriteria yang dibentuk dari fungsi kuadrat kesalahan antara sinyal *predicted output* dengan *reference trajectory*.

MPC kemudian mengambil keputusan untuk meminimalkan *future error* tersebut dengan keputusan yang masih berada dalam *constraint* yang telah ditetapkan. Hasil dari blok ini disebut *future input* yang dikembalikan bersama-sama dengan data *input* dan *output* sebelumnya untuk diestimasi kembali. Perhitungan ini berlangsung seterusnya dan berulang-ulang. Karena adanya koreksi *input* berdasarkan *output* terprediksi inilah yang membuat MPC mampu bekerja menghasilkan respon yang semakin mendekati *reference trajectory* [2].

Keluaran proses dan pengendali terprediksi pada MPC menggunakan konsep *prediction horizon* yaitu seberapa jauh prediksi ke depan yang diharapkan. Hal ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kalkulasi keluaran proses dan pengendali terprediksi [4]

Gambar 2.3 menunjukkan respon sistem saat diberi pengendali MPC. Dapat dilihat bahwa respon mampu menghasilkan nilai yang mendekati *reference trajectory*, hal ini dikarenakan sinyal kendali yang mengalami perubahan setiap waktu berdasarkan *error* yang terjadi.

2.8.1 Model Predictive Control (MPC) Linier

Dalam MPC persamaan yang digunakan adalah persamaan dalam bentuk matriks ruang keadaan diskrit dan linier. Persamaan ruang keadaan diskrit yang digunakan adalah sebagai berikut [12]:

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1|k) = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k|k) \quad (2.14)$$

$$\tilde{\mathbf{y}}(k|k) = \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) \quad (2.15)$$

dengan:

$\tilde{\mathbf{x}}(k|k)$ = vektor ruang keadaan berdimensi- n

$\tilde{\mathbf{y}}(k|k)$ = vektor keluaran terukur berdimensi- n

$\tilde{\mathbf{u}}(k|k)$ = vektor masukan berdimensi- m

\mathbf{A} = matriks keadaan berdimensi $n \times n$

\mathbf{B} = matriks masukan berdimensi $n \times m$

\mathbf{C} = matriks keluaran berdimensi $n \times n$

$a(m|n)$ menyatakan nilai a saat m yang diprediksi ketika berada dalam tahap n .

Untuk lebih memudahkan dalam penulisan, $\tilde{\mathbf{x}}(k|k)$ bisa ditulis dalam bentuk $\tilde{\mathbf{x}}(k)$.

Dalam perhitungan prediksi keluaran dengan MPC, sinyal masukan yang digunakan adalah $\tilde{\mathbf{u}}(k)$. Oleh karena itu Persamaan (2.6) harus diubah bentuknya supaya terdapat unsur $\tilde{\mathbf{u}}(k)$ di dalamnya. Hal pertama yang dilakukan adalah mencari prediksi dari Persamaan ruang keadaan (2.6) dengan melakukan iterasi terhadap persamaan tersebut sebagai berikut:

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1|k) = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}(k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k) \quad (2.16)$$

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+2|k) = \mathbf{A}^2\tilde{\mathbf{x}}(k) + \mathbf{A}\mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k|k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k+1|k) \quad (2.17)$$

⋮

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+N|k) = \mathbf{A}^N\tilde{\mathbf{x}}(k) + \mathbf{A}^{N-1}\mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k|k) + \mathbf{A}^{N-2}\mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k+1|k) + \dots + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k+N-1|k) \quad (2.18)$$

2.8.2 Fungsi Kriteria Pada Model Predictive Control (MPC)

Pada tiap waktu k , didefinisikan *stage cost* [12]:

$$s(\tilde{\mathbf{x}}(k), \tilde{\mathbf{u}}(k)) = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{x}}(k) \\ \tilde{\mathbf{u}}(k) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \mathbf{Q} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{x}}(k) \\ \tilde{\mathbf{u}}(k) \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Berdasarkan Persamaan (2.19), \mathbf{Q} adalah matriks bobot kesalahan pada ruang keadaan berdimensi $n \times n$, sedangkan \mathbf{R} adalah matriks bobot pada kontrol berdimensi $m \times m$. Pada tiap waktu k terdapat kendala, yang didefinisikan sebagai berikut

$$\mathbf{F}_1\tilde{\mathbf{x}}(k) \leq \mathbf{f}_1 \quad (2.20)$$

$$\mathbf{F}_2\tilde{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{f}_2 \quad (2.21)$$

$$\tilde{\mathbf{u}}(k)_{\min} \leq \tilde{\mathbf{u}}(k) \leq \tilde{\mathbf{u}}(k)_{\max} \quad (2.22)$$

dengan matriks \mathbf{F}_1 berdimensi $l \times n$, matriks \mathbf{F}_2 berdimensi $o \times m$, dan vektor \mathbf{f}_1 berdimensi $l \times 1$ serta vektor \mathbf{f}_2 berdimensi $o \times 1$. Persamaan (2.20) merupakan kendala pada *state*, sedangkan persamaan (2.21) dan (2.22) merupakan kendala pada kontrol sistem.

2.8.3 Optimisasi Pada *Model Predictive Control* (MPC) Linier

Dengan menggunakan Persamaan (2.11), maka nilai kontrol pada tiap langkah waktu k dapat diperoleh dengan menyelesaikan optimisasi berikut ini [12]

$$\text{minimumkan } J(\tilde{\mathbf{u}}(k), \tilde{\mathbf{x}}(k)) = \sum_{j=1}^{N_p} \tilde{\mathbf{x}}^T(k+j) \mathbf{Q} \tilde{\mathbf{x}}(k+j) + \tilde{\mathbf{u}}^T(k+j) \mathbf{R} \tilde{\mathbf{u}}(k+j) \quad (2.23)$$

dengan kendala

$$\mathbf{F}_1 \tilde{\mathbf{x}}(j+1) \leq \mathbf{f}_1, j = k, k+1, \dots, k+N_p-1 \quad (2.24)$$

$$\mathbf{F}_2 \tilde{\mathbf{u}}(j) \leq \mathbf{f}_2, j = k, k+1, \dots, k+N_p-1 \quad (2.25)$$

$$\tilde{\mathbf{u}}(j)_{\min} \leq \tilde{\mathbf{u}}(j) \leq \tilde{\mathbf{u}}(j)_{\max}, j = k, k+1, \dots, k+N_p-1. \quad (2.26)$$

Penyelesaian masalah optimisasi pada Persamaan (2.23) akan menghasilkan penyelesaian optimal :

$$\{\tilde{\mathbf{u}}^*(k), \tilde{\mathbf{u}}^*(k+1), \tilde{\mathbf{u}}^*(k+2), \dots, \tilde{\mathbf{u}}^*(k+N_p-1)\}. \quad (2.27)$$

Dengan menggunakan prinsip *receding horizon* pada MPC, yakni nilai kontrol optimal yang diberikan pada sistem adalah vektor awal dari penyelesaian optimalnya, maka nilai kontrol yang diberikan pada Persamaan (2.14) adalah

$$\tilde{\mathbf{u}}(k) = \tilde{\mathbf{u}}^*(k) \quad (2.28)$$

dengan $\tilde{\mathbf{u}}(k)$ merupakan nilai vektor kontrol pada saat ke k , sedangkan $\tilde{\mathbf{u}}^*(k)$ adalah nilai kontrol optimal pada saat ke- k .

2.9 Jakarta Islamic Index (JII)

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data saham yang bersumber dari *Jakarta Islamic Index* (JII) yang merupakan indeks saham yang diluncurkan pada tanggal 3 Juli 2000

oleh Bursa Efek Indonesia (BEI) untuk memfasilitasi perdagangan saham dari perusahaan yang berbasis syariah islam. JII mengacu pada 30 saham yang sektor usahanya memenuhi prinsip Syariah Islam. Fatwa-fatwa DSN MUI tahun 2004 yang mengatur tentang prinsip-prinsip syariah di bidang pasar modal yang menyatakan bahwa suatu sekuritas/efek di pasar modal dipandang telah memenuhi prinsip-prinsip syariah apabila telah memperoleh pernyataan kesesuaian syariah secara tertulis dari DSN-MUI.

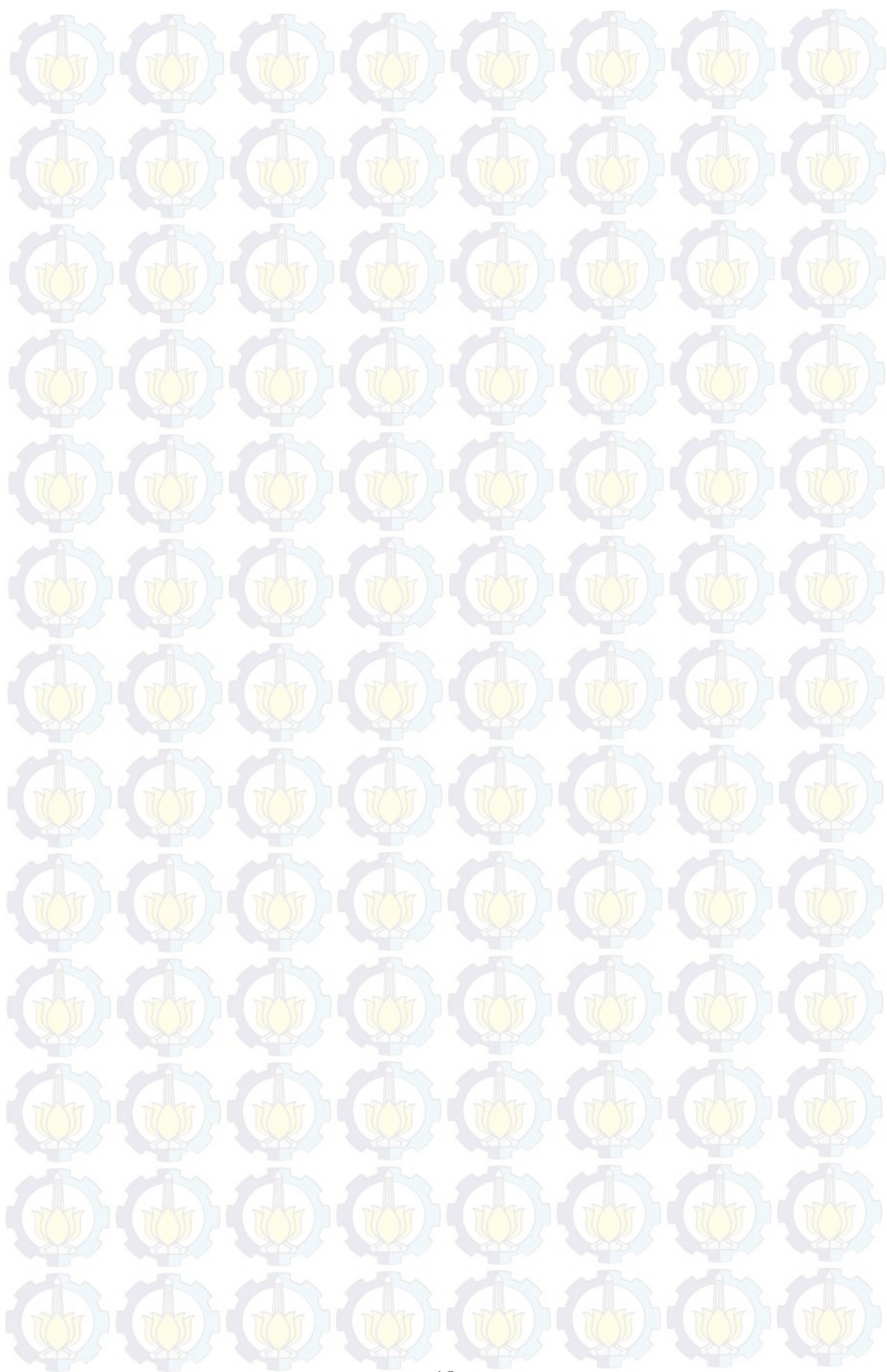
Saham-saham anggota JII tersebut dinilai dan harus memenuhi syarat yang ditetapkan oleh Dewan Syariah Nasional (DSN) MUI. Dengan demikian saham-saham yang masuk ke dalam JII-30 harus memenuhi unsur yang sama dengan indeks lainnya kecuali unsur haram dalam pandangan MUI. Unsur haram yang disyaratkan DSN MUI pada umumnya terkait dengan kegiatan bisnis, yaitu tidak melakukan kegiatan bisnis yang terkait: alkohol, perjudian, produksi dengan bahan baku babi, pornografi, jasa keuangan dan asuransi konvensional. Untuk memilih saham-saham yang layak menjadi anggota JII, dilakukan seleksi khusus sebagai berikut:

- BEJ memilih kumpulan saham yang memiliki usaha utama yang tidak bertentangan dengan syariah islam. Saham ini harus sudah tercatat di BEJ lebih dari 3 bulan, kecuali jika saham itu masuk dalam kelompok 10 saham dengan kapitalisasi pasar terbesar.
- BEJ memilih saham yang memiliki rasio kewajiban terhadap aktiva tidak melebihi 90%, berdasarkan laporan tahunan atau semesteran terakhir.
- BEJ memilih 60 saham dari saham-saham itu yang memiliki rata-rata kapitalisasi pasar terbesar dalam setahun terakhir.
- Seleksi terhadap 30 saham dari saham-saham sebelumnya yang memiliki nilai likuiditas perdagangan reguler rata-rata paling tinggi dalam setahun terakhir.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa saham-saham yang masuk kriteria JII adalah saham-saham halal, yang operasionalnya tidak mengandung unsur *ribawi* dan struktur permodalan perusahaan bukan mayoritas dari hutang. Selain halal, saham-saham yang masuk dalam JII juga merupakan saham-saham yang paling besar kapitalisasi pasarnya, dan paling likuid. Saham-saham JII ini pada umumnya mempunyai struktur modal yang sehat dan tidak terbebani bunga hutang berlebihan, sehingga berpotensi meningkatkan keuntungan emiten dan terhindar dari beban keuangan jangka panjang.

Seperti indeks saham lainnya, indeks JII bersifat dinamis dalam arti secara periodik dilakukan *update* agar senantiasa responsif dengan pergerakan pasar dan sesuai dengan

syariah. Jika ada yang perlu diganti, setiap enam bulan - pada bulan Januari dan Juli - BEJ akan melakukan penggantian dan mengumumkan daftar anggota JII yang baru. Investor bisa menggunakan JII sebagai tolok ukur untuk mengukur kinerja portofolio investasi di saham-saham syariah. Pada penelitian ini data saham yang digunakan merupakan data saham harian sekunder yang didapatkan dari website *yahoo finance* [13].



BAB 3

METODA PENELITIAN

Pada bagian ini diuraikan beberapa tahapan yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Adapun tahapan-tahapan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.1 Studi Literatur

Pada tahap ini, studi literatur dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai model matematika dari manajemen portofolio saham. Agar portofolio saham yang terbentuk berada dalam batas *constraint* yang ditetapkan, maka diperlukan pengendali yang dapat mengatasi batasan tersebut. Dalam hal ini, penulis menggunakan *model predictive control* (MPC) sebagai pengendali. Studi literatur juga dilakukan untuk mendapatkan informasi terkait teori pada MPC serta algoritma pada MPC. Tahap studi literatur dilakukan melalui pengkajian pada beberapa buku-buku literatur dan jurnal terkait.

3.2 Pengumpulan Data Penelitian

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data mengenai studi kasus yang digunakan pada penelitian ini, yaitu data saham ketiga perusahaan yang tergabung dalam *Jakarta Islamic Index* (JII), yaitu Unilever, Perusahaan Gas Negara, dan Semen Indonesia. Data ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari *Yahoo Finance* mulai tanggal 31 Mei 2013 sampai dengan tanggal 30 Mei 2014. Setelah mendapatkan data saham harian dari ketiga perusahaan tersebut, selanjutnya dihitung nilai *return* saham harian dari tiap-tiap perusahaan.

3.3 Analisis Pengendali *Model Predictive Control*

Pada tahap ini, dengan menggunakan parameter-parameter yang bersumber dari data selanjutnya diperoleh persamaan ruang keadaan diskrit. Langkah berikutnya adalah dengan memberikan nilai *state* dan kontrol awal, sehingga didapatkan nilai *output* awal dari sistem. Selanjutnya didefinisikan kendala pada sistem, yaitu kendala yang terdapat pada *state* dan kontrol. Setelah pemberian nilai awal dan pendefinisian kendala pada sistem, berikutnya akan dibandingkan nilai *output* dengan nilai *reference trajectory* yang telah ditetapkan sebelumnya, sehingga terdapat *error*. Nilai *error* ini diminimumkan

dengan menggunakan pengendali MPC melalui proses optimisasi. Proses tersebut bekerja dengan meminimalkan *error* pada fungsi objektif, yaitu fungsi kriteria yang dibentuk dari fungsi kuadratik antara *output* dengan *reference trajectory*. Fungsi objektif ini bekerja dalam rentang *constraint* yang telah ditetapkan. Hasil optimisasi ini menghasilkan nilai kontrol optimal \tilde{u}^* dan disebut dengan *future input*. Nilai *input* tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam persamaan ruang keadaan sehingga didapatkan nilai *state* dan *output* sistem pada waktu berikutnya. Perhitungan ini berlangsung secara terus-menerus dan berulang hingga nilai *output* dari sistem mengikuti *reference trajectory* yang ditetapkan sampai rentang waktu yang telah ditentukan.

3.4 Simulasi

Pada tahap ini nilai kontrol optimal yang didapatkan merupakan hasil optimisasi dengan menggunakan *subroutine quadprog* yang berada pada *software* MATLAB. Nilai kontrol optimal ini selanjutnya diinputkan ke dalam *state* sistem, sehingga dapat ditampilkan grafik kontrol, *state*, serta *output* dari sistem berdasarkan pengendali yang telah dirancang sebelumnya.

3.5 Pembahasan

Setelah mengetahui hasil simulasi yang didapatkan pada tahap sebelumnya, pada tahap ini dilakukan pembahasan serta analisis hasil simulasi. Selanjutnya akan ditarik kesimpulan dari penelitian berdasarkan hasil yang diperoleh.

3.6 Penyusunan Hasil Penelitian

Pada tahap ini dilakukan pembuatan laporan hasil penelitian di mulai dari Halaman Judul, Abstrak, Daftar Isi, Bab 1 sampai dengan Bab 5, dan Daftar Pustaka.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah pada bab sebelumnya telah diketahui langkah-langkah analisis pengendali, pada bab ini dibahas penyelesaian optimisasi pada portofolio saham dengan menggunakan *model predictive control*, kemudian sistem pengendali tersebut disimulasikan dengan menggunakan *software* MATLAB.

4.1. Pemodelan Matematika pada Manajemen dan Kendala Portofolio Saham

Pada penelitian ini, data saham yang digunakan adalah data saham harian sekunder dari 3 perusahaan dengan kapitalisasi pasar terbesar (Unilever, Perusahaan Gas Negara, Semen Indonesia) yang tergabung dalam *Jakarta Islamic Index* (JII) mulai tanggal 31 Mei 2013 sampai dengan tanggal 30 Mei 2014. Berdasarkan data tersebut dan dengan menggunakan Persamaan (2.2) sampai dengan Persamaan (2.5), maka didefinisikan variabel *state* adalah \tilde{x} yang meliputi x_1, x_2, x_3, x_4 dan x_5 , dengan

x_1 = jumlah modal yang diinvestasikan oleh investor pada saham Unilever

x_2 = jumlah modal yang diinvestasikan oleh investor pada saham Perusahaan Gas Negara

x_3 = jumlah modal yang diinvestasikan oleh investor pada saham Semen Indonesia

x_4 = jumlah modal investor pada aset bebas risiko (bank)

x_5 = jumlah pinjaman investor.

Variabel kontrol pada sistem didefinisikan sebagai \tilde{u} yang meliputi $p_1, p_2, p_3, q_1, q_2, q_3$ dan v , dengan

p_1 = jumlah transfer dari rekening bank untuk pembelian saham Unilever

p_2 = jumlah transfer dari rekening bank untuk pembelian saham Perusahaan Gas Negara

p_3 = jumlah transfer dari rekening bank untuk pembelian saham Semen Indonesia

q_1 = jumlah transfer hasil penjualan saham Unilever ke rekening bank

q_2 = jumlah transfer hasil penjualan saham Perusahaan Gas Negara ke rekening bank

q_3 = jumlah transfer hasil penjualan saham Semen Indonesia ke rekening bank

v = transfer antara rekening bank dan rekening pinjaman.

Variabel *output* sistem didefinisikan sebagai \tilde{y} yang merupakan jumlah seluruh modal yang dimiliki oleh investor dengan $\tilde{y} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 - x_5$.

Berdasarkan keterangan tersebut serta dengan menggunakan Persamaan (2.6) dan Persamaan (2.7), maka dapat dibentuk persamaan ruang keadaan diskrit sebagai berikut

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1|k) = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k|k) \quad (4.1)$$

$$\tilde{\mathbf{y}}(k|k) = \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) \quad (4.2)$$

dengan

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1) = \begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \\ x_3(k+1) \\ x_4(k+1) \\ x_5(k+1) \end{bmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{x}}(k) = \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \\ x_4(k) \\ x_5(k) \end{bmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{u}}(k) = \begin{bmatrix} p_1(k) \\ p_2(k) \\ p_3(k) \\ q_1(k) \\ q_2(k) \\ q_3(k) \\ v(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 + \eta_1(k) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 + \eta_2(k) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 + \eta_3(k) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 + r_1(k) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 + r_2(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 + \eta_1(k) & 0 & 0 & -(1 + \eta_1(k)) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 + \eta_2(k) & 0 & 0 & -(1 + \eta_2(k)) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 + \eta_3(k) & 0 & 0 & -(1 + \eta_3(k)) & 0 \\ (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & 1 + r_1(k) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 + r_2(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C} = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1].$$

4.2. Penerapan MPC Pada Optimisasi Portofolio Saham

Pada MPC, pengendalian dilakukan secara prediktif. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2, dalam MPC akan diperkirakan suatu nilai a pada saat m ketika berada dalam tahap n . Berikut ini akan diberikan beberapa langkah untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi portofolio saham.

4.2.1 Inisialisasi Awal

Parameter-parameter yang digunakan pada portofolio saham dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data parameter portofolio saham

Variabel	Nilai
α	0,0002
β	0,0002
r_1	0,00003
r_2	0,00031
$d_0(k)$	5×10^8
$\mathbf{x}(0)$	$[0,0,0,1 \times 10^8,0]^T$
N_p	10
Q	1
R	0,1
$r(k)$	1×10^9
$p_i \text{ max}$	1×10^8
$q_i \text{ max}$	1×10^8
$v(k) \text{ max}$	1×10^8
$v(k) \text{ min}$	-1×10^8

Pada tahap inisialisasi awal, diberikan nilai kontrol awal yaitu $p_i(0) = 0$, untuk $i = 1,2,3$, $q_i(0) = 0$, untuk $i = 1,2,3$, dan $v(0) = 0$, serta nilai *state* awal $[x_1(0), x_2(0), x_3(0), x_4(0), x_5(0)]^T = [0,0,0,1 \times 10^8,0]^T$. Pada kondisi awal seluruh modal yang dimiliki oleh investor diinvestasikan ke dalam aset bebas risiko (bank). Nilai $d_0(k)$ dipilih 5×10^8 dengan tujuan untuk memberikan kesempatan kepada investor meminjam sejumlah dana ketika dibutuhkan. Untuk mempermudah penulisan, saham Unilever selanjutnya disebut saham ke-1, saham Perusahaan Gas Negara disebut saham ke-2, dan saham Semen Indonesia disebut saham ke-3.

Dalam kajian sistem kontrol, suatu sistem dikatakan terkontrol jika untuk setiap keadaan sebarang $\tilde{\mathbf{x}}(0) = \tilde{\mathbf{x}}_0$, ada masukan $\tilde{\mathbf{u}}(t)$ yang tidak dibatasi mentransfer keadaan $\tilde{\mathbf{x}}_0$ ke sebarang keadaan akhir $\tilde{\mathbf{x}}_k$ dengan waktu akhir k berhingga. Pada Persamaan (4.1) dan dengan menggunakan data dari parameter dapat diketahui nilai dari matriks \mathbf{A} dan \mathbf{B} . Selanjutnya didapatkan bahwa matriks $[\mathbf{B} \mid \mathbf{AB} \mid \mathbf{A}^2\mathbf{B} \mid \mathbf{A}^3\mathbf{B} \mid \mathbf{A}^4\mathbf{B}]$ memiliki rank 5, yang berarti bahwa sistem dalam keadaan terkontrol. Hal inilah yang memungkinkan penerapan MPC linier dalam permasalahan optimisasi portofolio saham. Berikutnya, dengan menggunakan data dari parameter dan Persamaan (4.1) serta Persamaan (4.2) didapatkan bahwa matriks $[\mathbf{C}, \mathbf{CA}, \mathbf{CA}^2, \mathbf{CA}^3, \mathbf{CA}^4]^T$ memiliki rank 5. Hal ini berarti sistem teramati.

4.2.2 Perhitungan Kendala pada Portofolio Saham

Berdasarkan Persamaan (2.8) sampai dengan Persamaan (2.13) dan dengan menggunakan parameter-parameter yang terdapat pada Tabel 4.1, maka kendala pada setiap waktu k pada portofolio saham dapat dituliskan kembali menjadi:

$$0 \leq p_i(k) \leq 1 \times 10^8, \text{ dengan } i = 1, 2, 3 \quad (4.3)$$

$$0 \leq q_i(k) \leq 1 \times 10^8, \text{ dengan } i = 1, 2, 3 \quad (4.4)$$

$$-1 \times 10^8 \leq v(k) \leq 1 \times 10^8 \quad (4.5)$$

$$0 \leq x_5(k) + v(k) \leq 5 \times 10^8 \quad (4.6)$$

$$x_4(k) + v(k) - (1 + \alpha) \sum_{i=1}^3 p_i(k) + (1 - \beta) \sum_{i=1}^3 q_i(k) \geq 0 \quad (4.7)$$

$$x_i(k) + p_i(k) - q_i(k) \geq 0, \text{ dengan } i = 1, 2, 3. \quad (4.8)$$

Bentuk Pertidaksamaan (4.3) sampai dengan Pertidaksamaan (4.8) dapat dituliskan kembali dalam bentuk matriks sebagai berikut

$$\mathbf{P}_1 \tilde{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{h}_1 \quad (4.9)$$

$$\mathbf{b}_1 \leq \mathbf{S}_1 \tilde{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{b}_2 \quad (4.10)$$

dengan

$$\tilde{\mathbf{u}}(k) = [p_1(k), p_2(k), p_3(k), q_1(k), q_2(k), q_3(k), v(k)]^T$$

$$\mathbf{P}_1 = \begin{bmatrix} 1 + \alpha & 1 + \alpha & 1 + \alpha & -(1 - \beta) & -(1 - \beta) & -(1 - \beta) & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{h}_1 = [x_4(k), x_5(k), 5 \times 10^8 - x_5(k), x_1(k), x_2(k), x_3(k)]^T$$

$$\mathbf{S}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b}_1 = [0,0,0,0,0,0,(-1 \times 10^8)]^T$$

$$\mathbf{b}_2 = [1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8]^T.$$

4.2.3 Prediksi Kontrol Optimal dengan MPC

Berdasarkan Persamaan (2.23) serta dengan menggunakan Persamaan (4.1) dan Persamaan (4.2), maka didefinisikan fungsi objektif sebagai berikut

$$J(\tilde{\mathbf{u}}(k), \tilde{\mathbf{e}}(k)) = \sum_{j=1}^{N_p} \tilde{\mathbf{e}}^T(k+j) \mathbf{Q} \tilde{\mathbf{e}}(k+j) + \sum_{j=1}^{N_p} \tilde{\mathbf{u}}^T(k+j) \mathbf{R} \tilde{\mathbf{u}}(k+j) \quad (4.11)$$

dengan $\tilde{\mathbf{e}}(k+j) = \tilde{\mathbf{y}}(k) - \mathbf{r}(k)$, $\mathbf{r}(k)$ adalah *reference trajectory* yang berupa target total modal yang diinginkan oleh investor. Berdasarkan data pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa nilai $\mathbf{r}(k)$ adalah 1×10^9 , N_p menunjukkan *prediction horizon*, $\tilde{\mathbf{u}}(k+j)$ menunjukkan kontrol dari sistem pada saat langkah ke- $k+j$, dan $\tilde{\mathbf{e}}(k+j)$ menunjukkan eror pada saat langkah ke- $k+j$. Pada simulasi dipilih nilai N_p adalah 10. Matriks \mathbf{Q} dan \mathbf{R} masing-masing merupakan matriks bobot semi definit positif yang berkaitan dengan $\tilde{\mathbf{e}}$ dan $\tilde{\mathbf{u}}$.

Metode pengendalian optimal yang digunakan pada MPC linier ini memiliki bentuk *quadratic programming* (QP), sehingga fungsi objektif pada Persamaan (4.11) dapat dituliskan kembali dalam bentuk QP standar sebagai berikut

$$J(\hat{\mathbf{u}}(k)) = \hat{\mathbf{u}}^T(k) \mathbf{H} \hat{\mathbf{u}}(k) + 2\mathbf{f}^T \hat{\mathbf{u}}(k) \quad (4.12)$$

dengan

$$\mathbf{H} = (\hat{\mathbf{B}}^T \hat{\mathbf{Q}} \hat{\mathbf{B}} + \hat{\mathbf{R}})$$

$$\mathbf{f} = (\hat{\mathbf{B}}^T \hat{\mathbf{Q}} (\hat{\mathbf{A}} \hat{\mathbf{x}}(k) - \mathbf{r}(k)))$$

$$\hat{\mathbf{u}}(k) = [\tilde{\mathbf{u}}(k|k), \tilde{\mathbf{u}}(k+1|k), \dots, \tilde{\mathbf{u}}(k+N_p-1|k)]^T$$

$$\hat{\mathbf{B}} = \begin{bmatrix} \mathbf{CB} & \mathbf{0}_{1 \times 7} & \mathbf{0}_{1 \times 7} & \mathbf{0}_{1 \times 7} & \dots & \mathbf{0}_{1 \times 7} \\ \mathbf{CAB} & \mathbf{CB} & \mathbf{0}_{1 \times 7} & \mathbf{0}_{1 \times 7} & \dots & \mathbf{0}_{1 \times 7} \\ \mathbf{CA}^2 \mathbf{B} & \mathbf{CAB} & \mathbf{CB} & \mathbf{0}_{1 \times 7} & \dots & \mathbf{0}_{1 \times 7} \\ \mathbf{CA}^3 \mathbf{B} & \mathbf{CA}^2 \mathbf{B} & \mathbf{CAB} & \mathbf{CB} & \dots & \mathbf{0}_{1 \times 7} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{CA}^{N_p-1} \mathbf{B} & \mathbf{CA}^{N_p-2} \mathbf{B} & \mathbf{CA}^{N_p-3} \mathbf{B} & \mathbf{CA}^{N_p-4} \mathbf{B} & \dots & \mathbf{CB} \end{bmatrix}_{N_p \times 7N_p} \quad \hat{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} \mathbf{CA} \\ \mathbf{CA}^2 \\ \mathbf{CA}^3 \\ \mathbf{CA}^4 \\ \vdots \\ \mathbf{CA}^{N_p} \end{bmatrix}_{N_p \times 5}$$

$$\hat{Q} = \begin{bmatrix} Q & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & Q & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & Q & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Q & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & Q \end{bmatrix}_{Np \times Np} \quad \hat{R} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & R & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & R & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & R \end{bmatrix}_{7Np \times 7Np}$$

$$\mathbf{0}_{1 \times 7} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0].$$

Dengan menggunakan Persamaan (4.12), maka prediksi nilai kontrol optimal didapatkan dengan menyelesaikan permasalahan optimisasi dalam bentuk *quadratic programming* sebagai berikut

$$\text{minimumkan} \quad J(\hat{\mathbf{u}}(k)) = \hat{\mathbf{u}}^T(k) \mathbf{H} \hat{\mathbf{u}}(k) + 2\mathbf{f}^T \hat{\mathbf{u}}(k) \quad (4.13)$$

dengan kendala

$$\mathbf{P} \hat{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{h} \quad (4.14)$$

$$\mathbf{B}_1 \leq \mathbf{S} \hat{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{B}_2 \quad (4.15)$$

dan

$$\hat{\mathbf{u}}(k) = [\tilde{\mathbf{u}}(k|k), \tilde{\mathbf{u}}(k+1|k), \dots, \tilde{\mathbf{u}}(k+N_p-1|k)]^T$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_1 & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \cdots & \mathbf{0}_{6 \times 7} \\ \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{P}_1 & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \cdots & \mathbf{0}_{6 \times 7} \\ \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{P}_1 & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \cdots & \mathbf{0}_{6 \times 7} \\ \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{P}_1 & \cdots & \mathbf{0}_{6 \times 7} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \cdots & \mathbf{P}_1 \end{bmatrix}_{6Np \times 7Np}, \quad \mathbf{h} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1 \\ \mathbf{h}_1 \\ \mathbf{h}_1 \\ \mathbf{h}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{h}_1 \end{bmatrix}_{6Np \times 1}$$

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_1 & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \cdots & \mathbf{0}_{7 \times 7} \\ \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{S}_1 & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \cdots & \mathbf{0}_{7 \times 7} \\ \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{S}_1 & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \cdots & \mathbf{0}_{7 \times 7} \\ \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{S}_1 & \cdots & \mathbf{0}_{7 \times 7} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \cdots & \mathbf{S}_1 \end{bmatrix}_{7Np \times 7Np}, \quad \mathbf{B}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{b}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{b}_1 \end{bmatrix}_{7Np \times 1}, \quad \mathbf{B}_2 = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_2 \\ \mathbf{b}_2 \\ \mathbf{b}_2 \\ \mathbf{b}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{b}_2 \end{bmatrix}_{7Np \times 1}$$

$\mathbf{0}_{6 \times 7}$ = matriks nol berukuran 6×7

$\mathbf{0}_{7 \times 7}$ = matriks nol berukuran 7×7 .

Penyelesaian optimal dari permasalahan optimisasi pada Persamaan (4.13) adalah

$$\{\tilde{\mathbf{u}}^*(k), \tilde{\mathbf{u}}^*(k+1), \tilde{\mathbf{u}}^*(k+2), \dots, \tilde{\mathbf{u}}^*(k+N_p-1)\} \quad (4.16)$$

Dengan menggunakan prinsip *receding horizon* pada MPC, yakni nilai kontrol optimal yang diinputkan pada sistem adalah vektor awal dari penyelesaian optimalnya, maka nilai kontrol yang diberikan pada Persamaan (4.1) adalah

$$\tilde{\mathbf{u}}(k) = \tilde{\mathbf{u}}^*(k) \quad (4.17)$$

dengan $\tilde{\mathbf{u}}(k)$ merupakan nilai vektor kontrol pada saat ke- k dan $\tilde{\mathbf{u}}^*(k)$ merupakan nilai kontrol optimal pada saat ke- k .

4.2.4 Portofolio Saham yang Optimal

Setelah didapatkan nilai kontrol optimal yang berasal dari hasil perhitungan menggunakan *quadratic programming*, langkah selanjutnya memasukkan nilai kontrol tersebut ke dalam Persamaan (4.1) dan Persamaan (4.2)

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{x}}(k+1|k) &= \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k|k) \\ \tilde{\mathbf{y}}(k|k) &= \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}(k|k). \end{aligned}$$

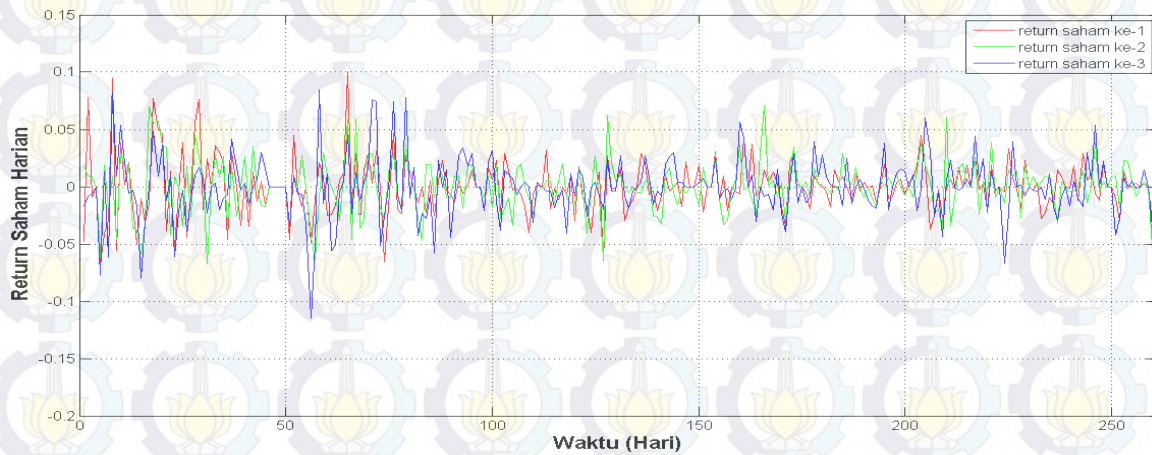
Berdasarkan algoritma MPC, dengan dimasukkannya nilai kontrol optimal ke dalam *state* maka diperoleh nilai prediksi *state* pada langkah selanjutnya ($\tilde{\mathbf{x}}(k+1|k)$). Setelah mendapatkan nilai prediksi *state*, maka selanjutnya juga didapatkan nilai *output* sistem. Setelah itu nilai dari *output* tersebut dimasukkan ke dalam perhitungan optimisasi berikutnya untuk mendapatkan nilai kontrol optimal selanjutnya. Begitu seterusnya sampai nilai *output* dari sistem mengikuti *reference trajectory* yang ditetapkan.

4.3. Hasil Simulasi pada Optimisasi Portofolio Saham dengan Pinjaman

Dari hasil analisis pengontrol MPC yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, selanjutnya pada bab ini ditampilkan hasil simulasi dengan menggunakan *software* Matlab. Tujuan dari optimisasi portofolio saham dengan menggunakan metode MPC adalah membuat *output* dari sistem, dalam hal ini merupakan total seluruh modal yang dimiliki oleh investor,

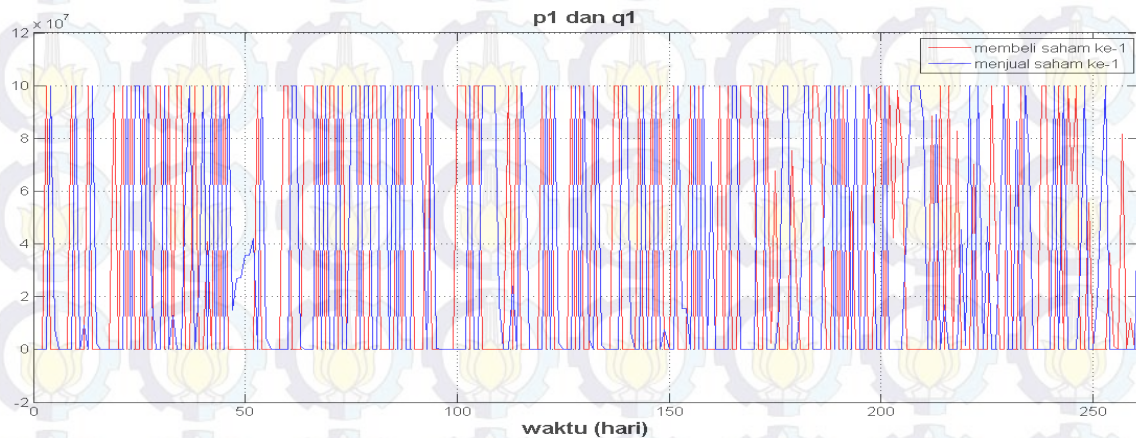
terus bertambah setiap harinya dengan mengikuti *reference trajectory* yang ditetapkan serta menjaga kontrol dan *state* dari sistem agar tetap berada dalam batas *constraint* yang ditetapkan.

Gambar 4.1 menunjukkan *return* saham harian dari ketiga perusahaan yang dijadikan objek penelitian.

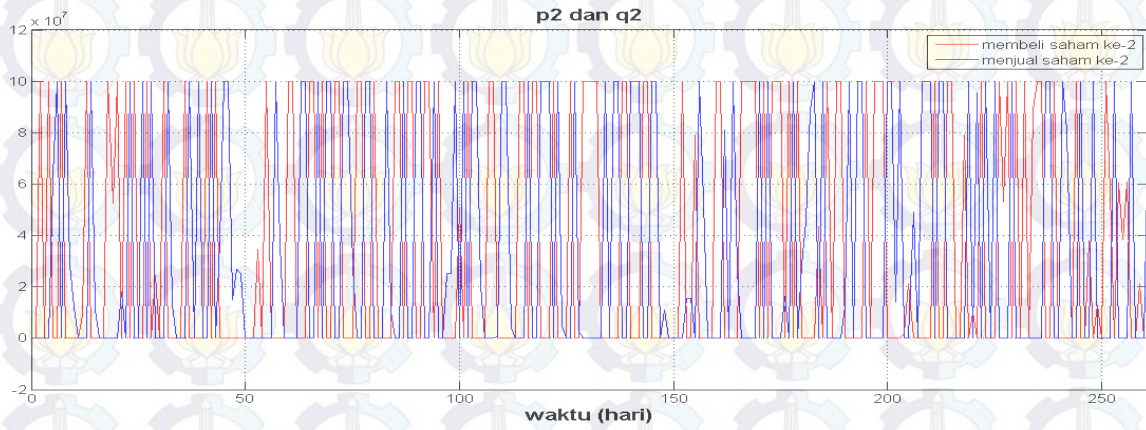


Gambar 4.1 *Return* saham harian pada tiga perusahaan

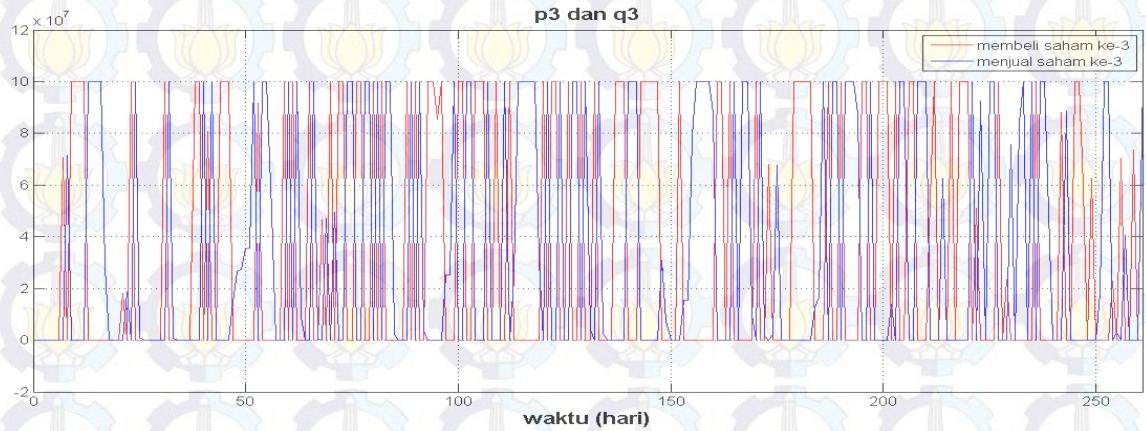
Hasil simulasi pada kontrol dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.2 sampai dengan Gambar 4.5.



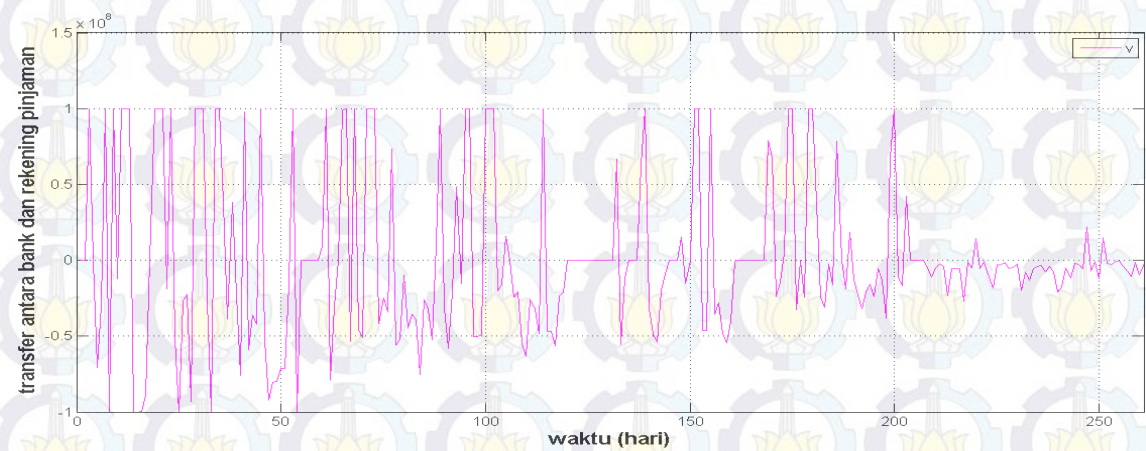
Gambar 4.2 Nilai p_1 dan q_1 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.3 Nilai p_2 dan q_2 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.4 Nilai p_3 dan q_3 di dalam portofolio saham dengan pinjaman

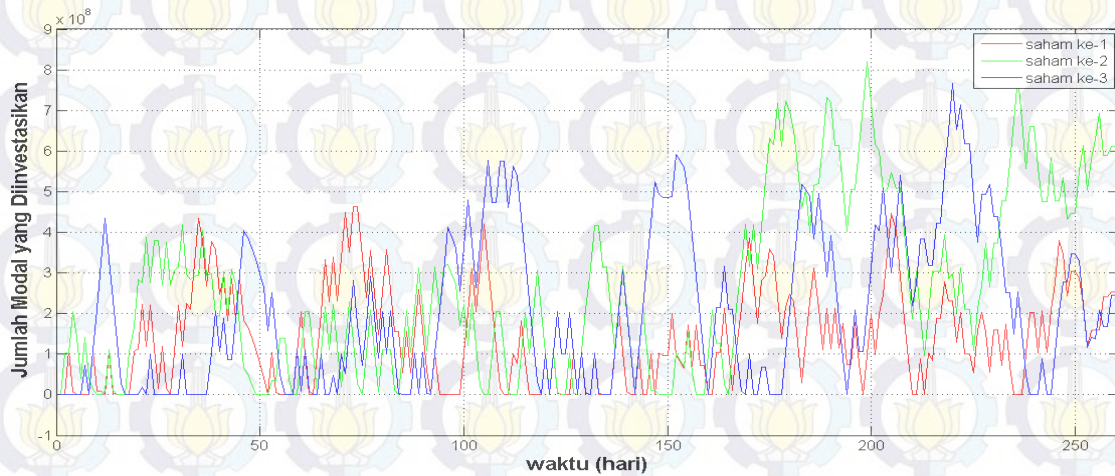


Gambar 4.5 Nilai v di dalam portofolio saham dengan pinjaman

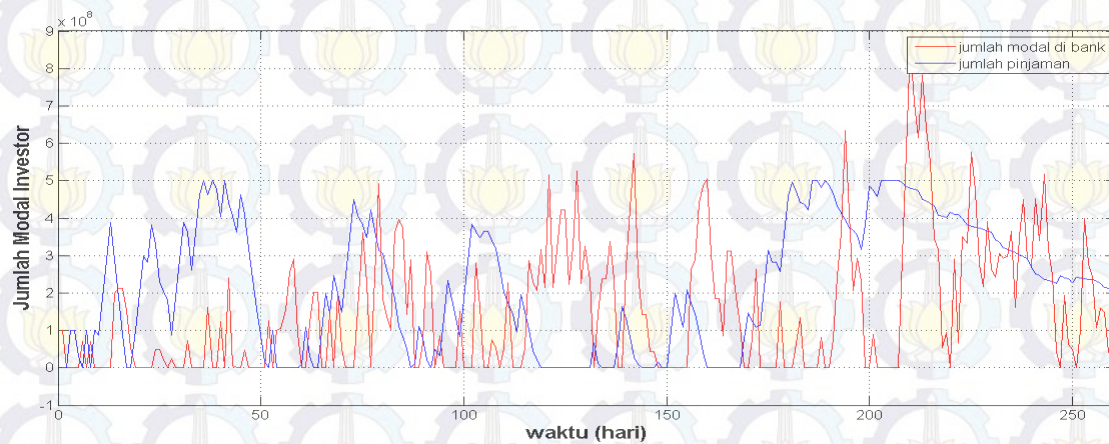
Berdasarkan Gambar 4.2 sampai dengan Gambar 4.4 diketahui bahwa nilai seluruh kontrol dari sistem, yaitu transfer uang yang digunakan untuk membeli dan menjual saham berada dalam batas *constraint* yang diberikan. Seluruh nilai $p_1(k)$, $p_2(k)$, $p_3(k)$, $q_1(k)$, $q_2(k)$, dan $q_3(k)$ berada diantara nilai minimumnya yaitu 0, dan nilai maksimumnya yaitu 1×10^8 . Gambar 4.5 menunjukkan transfer antara rekening investor di bank dan rekening pinjaman.

Nilai dari $v(k)$ berada dalam rentang -1×10^8 dan 1×10^8 . Nilai positif pada $v(k)$ menunjukkan bahwa investor mendapatkan pinjaman modal yang dapat digunakan untuk membeli saham. Sedangkan nilai negatif pada $v(k)$ menunjukkan bahwa investor membayarkan kembali modal yang telah ia pinjam sebelumnya. Nilai *reference trajectory* yang besar menyebabkan kontrol dari sistem selalu berusaha mencapai nilai maksimumnya.

Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 menunjukkan perubahan modal yang dimiliki oleh investor pada masing-masing saham, bank, serta pada pinjaman.



Gambar 4.6 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko di dalam portofolio saham dengan pinjaman

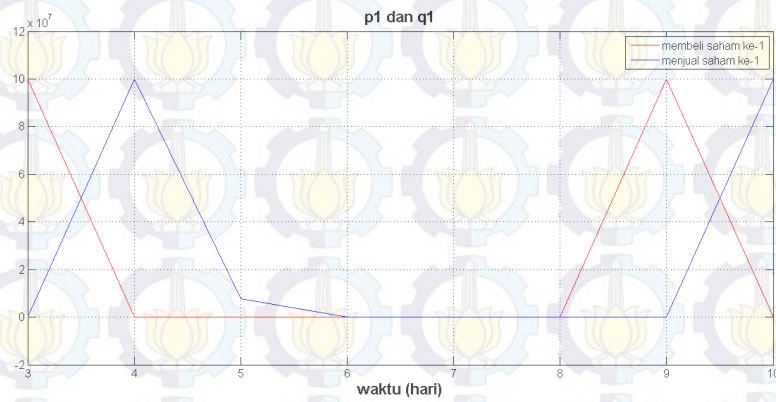


Gambar 4.7 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko serta pinjaman di dalam portofolio saham dengan pinjaman

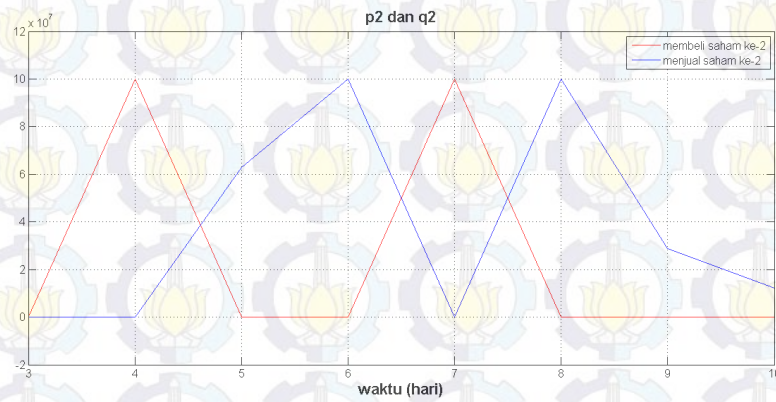
Berdasarkan Gambar 4.6 terlihat bahwa nilai *return* saham harian berpengaruh terhadap jumlah modal yang diinvestasikan pada masing-masing saham setiap harinya. Pengontrol MPC berusaha untuk meminimalkan kerugian yang akan terjadi pada investor ketika harga saham pada salah satu atau ketiga perusahaan mengalami penurunan. Berdasarkan Gambar 4.7 terlihat bahwa perubahan pada aset bebas risiko dan jumlah pinjaman memiliki korelasi yang sangat besar. Pengontrol MPC bertindak sebagai pengambil keputusan mengenai kapan waktu yang tepat untuk meminjam modal dan kapan waktu yang tepat untuk mengembalikan modal. Ketika jumlah uang di bank akan mencapai 0 atau ketika investor membutuhkan tambahan modal untuk menutupi biaya transaksi yang diperlukan dalam membentuk portofolio saham, maka pengontrol MPC mengambil keputusan untuk meminjam sejumlah dana pada rekening pinjaman.

4.3.1 Hasil Simulasi Portofolio Saham dengan Pinjaman pada Hari ke-3 sampai Hari ke-10

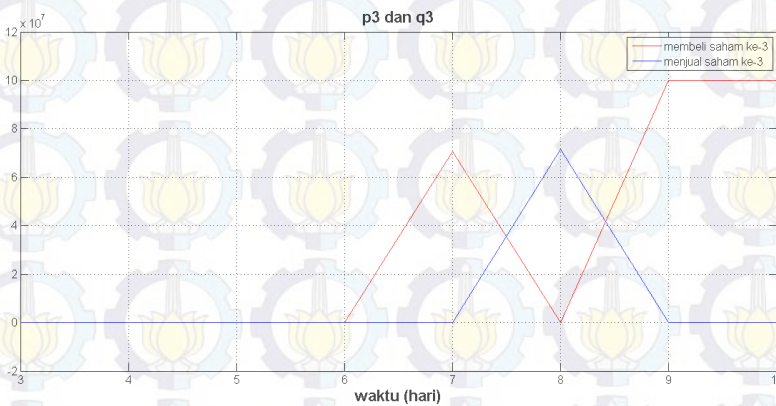
Nilai dari seluruh *state*, kontrol, serta *output* dari sistem untuk hari ke-3 (6 Juni 2013) sampai dengan hari ke-10 (13 Juni 2013) pada portofolio saham dengan pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.8 sampai dengan Gambar 4.14.



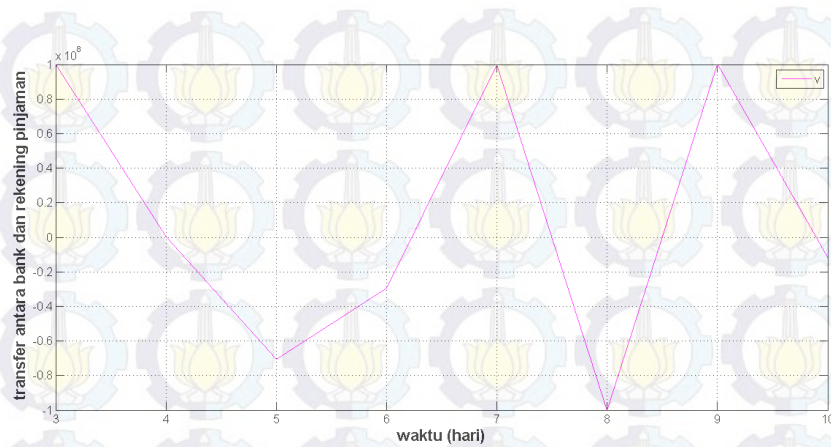
Gambar 4.8 Nilai p_1 dan q_1 untuk hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



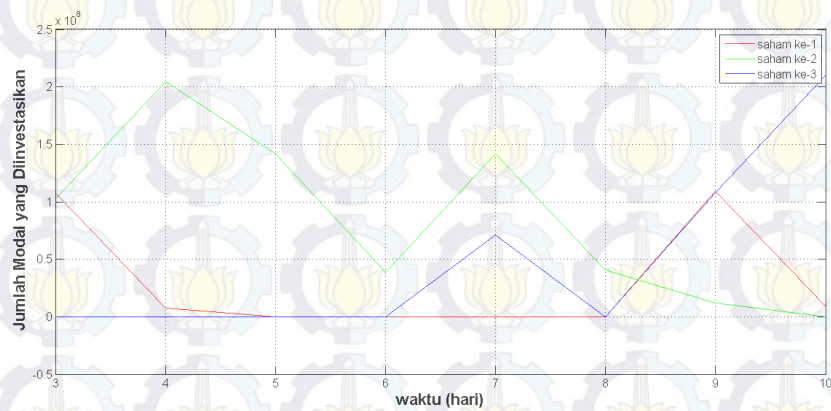
Gambar 4.9 Nilai p_2 dan q_2 untuk hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



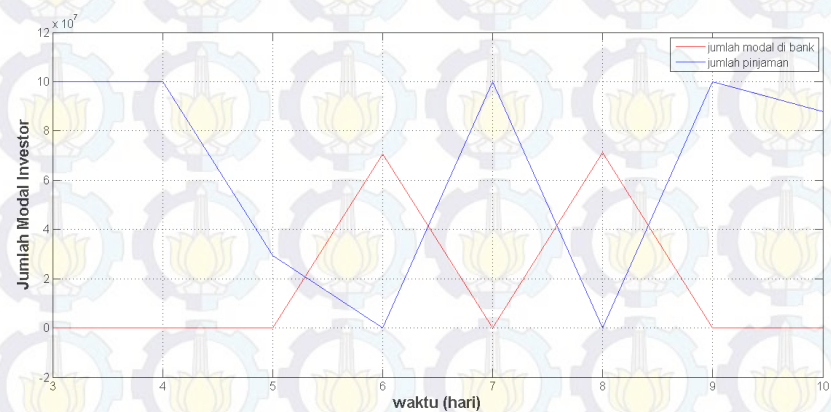
Gambar 4.10 Nilai p_3 dan q_3 untuk hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



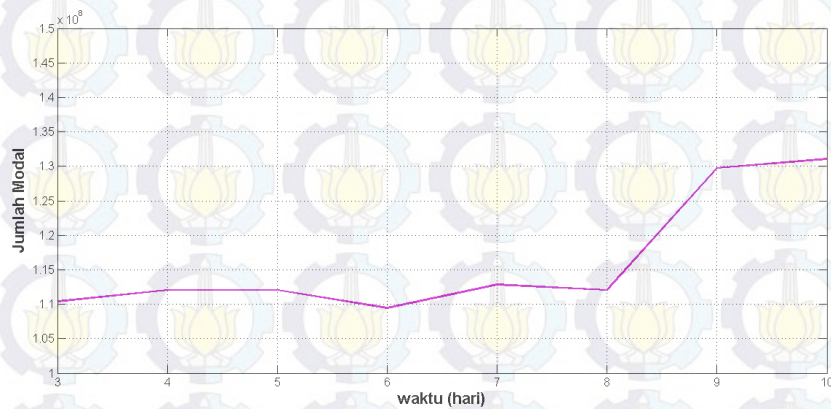
Gambar 4.11 Nilai v pada untuk ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.12 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.13 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko dan pinjaman hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.14 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman

Berdasarkan Tabel 4.2, dapat diketahui bahwa pada hari ke-5 (6 Juni 2013), *return* saham Unilever bernilai 0, artinya adalah harga saham pada hari tersebut nilainya sama jika dibandingkan dengan hari sebelumnya. Harga saham Unilever menunjukkan tren turun pada hari ke-5 (6 Juni 2013) sampai dengan hari ke-8 (11 Juni 2013), sehingga untuk menghindarkan investor dari kerugian yang terlalu besar pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Unilever. Nilai p_1 dan q_1 untuk hari ke-5 sampai dengan hari ke-8 adalah 0, yang berarti tidak ada proses jual beli untuk saham Unilever. Ketika harga saham Unilever kembali naik pada hari ke-9, didapatkan nilai p_1 adalah 1×10^8 , hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Unilever. Berdasarkan Tabel 4.3 diketahui bahwa pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8 nilai x_1 adalah 0, yang berarti bahwa tidak terjadi proses perdagangan saham Unilever pada hari tersebut.

Tabel 4.2 Harga dan *return* saham harian serta total modal investor pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8

Tanggal	Harga Saham			Return Saham			Total Modal Investor
	Unilever	PGN	SI	Unilever	PGN	SI	
6 Juni 2013	31000	5700	17450	0	0	0	112.026.682
7 Juni 2013	28900	5350	16100	-0,06774	-0,06140	-0,07736	109.461.721
10 Juni 2013	27700	5450	16300	-0,04152	0,01869	0,01242	112.869.216
11 Juni 2013	26900	5350	15300	-0,0288	-0,01834	-0,06134	112.075.040

Tabel 4.3 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3, x_4, x_5$ dan v pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8

Variabel	Tanggal			
	6 Juni 2013	7 Juni 2013	10 Juni 2013	11 Juni 2013
x_1	0	0	0	0
p_1	0	0	0	0
q_1	7.671.030	0	0	0
x_2	141.480.966	38.933.889	141.530.785	40.768.752
p_2	0	0	100.000.000	0
q_2	63.019.991	100.000.000	0	100.000.000
x_3	0	0	71.369.431	0
p_3	0	0	70.493.732	0
q_3	0	0	0	71.369.431
x_4	0	70.527.831	0	71.337.297
x_5	29.454.284	0	100.031.000	31.009
v	-70.676.884	-29.454.284	100.000.000	-100.000.000

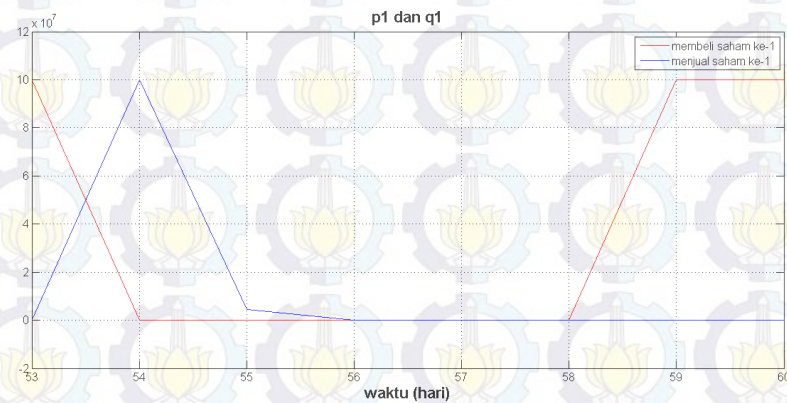
Pada hari ke-5, *return* saham PGN bernilai 0, namun harga saham Unilever menunjukkan tren fluktuatif pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8. Pada hari ke-6 dan ke-8 ketika harga saham PGN turun, pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham PGN, sedangkan pada hari ke-7 ketika harga saham PGN naik pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham PGN. Pada hari ke-5 sampai hari ke-8 nilai x_2 bergerak fluktuatif, jika harga saham naik nilai x_2 bertambah sedangkan jika harga saham turun nilai x_2 berkurang. Harga saham Semen Indonesia juga menunjukkan tren fluktuatif pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8, sehingga pengontrol MPC melakukan hal yang sama seperti pada x_2 . Ketika harga saham Semen Indonesia naik pada hari ke-7, pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Semen Indonesia, sedangkan pada hari ke-6 dan ke-8 ketika harga saham Semen Indonesia turun pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Semen Indonesia.

Sebagai akibat dari kontrol tersebut, maka jumlah modal investor di bank dan rekening pinjaman mengalami perubahan setiap harinya mulai hari ke-5 sampai dengan hari ke-8. Berdasarkan Tabel 4.3, pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8 jumlah modal investor di bank masing-masing adalah sebesar 0, 70.527.831, 0, dan 71.337.297, sedangkan jumlah pinjaman investor pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8 masing-masing adalah 29.454.284, 0, 100.031.000 dan 31.009. Jumlah seluruh modal investor yang merupakan *output* dari sistem juga menunjukkan tren fluktuatif, ketika harga saham dari kedua perusahaan (PGN dan Semen Indonesia) mengalami penurunan pada hari ke-6 dan hari ke-8

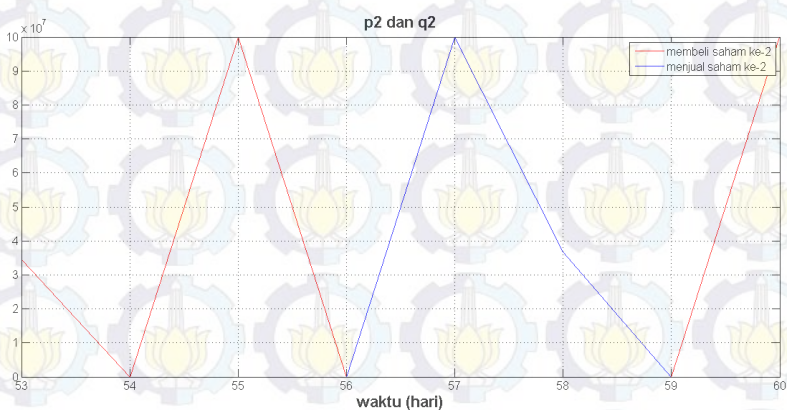
jumlah modal dari investor juga mengalami penurunan. Sedangkan ketika harga dari kedua perusahaan mengalami kenaikan pada hari ke-7 jumlah modal investor juga mengalami kenaikan.

4.3.2 Hasil Simulasi Portofolio Saham dengan Pinjaman pada Hari ke-53 sampai Hari ke-60

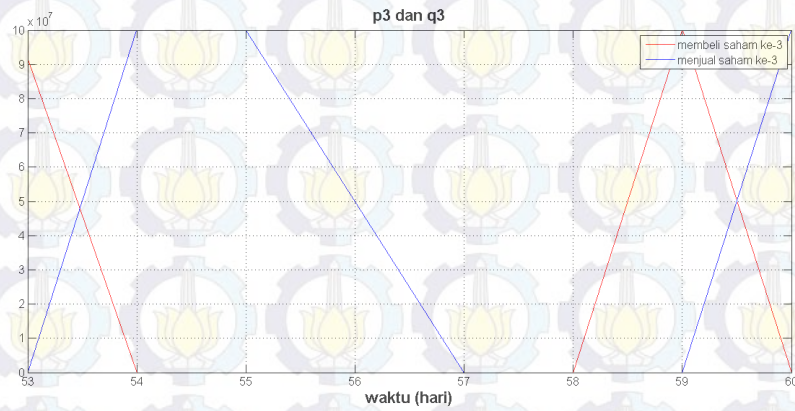
Nilai dari seluruh *state*, kontrol, serta *output* dari sistem untuk hari ke-53 (13 Agustus 2013) sampai dengan hari ke-60 (22 Agustus 2013) pada portofolio saham dengan pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.15 sampai dengan Gambar 4.21.



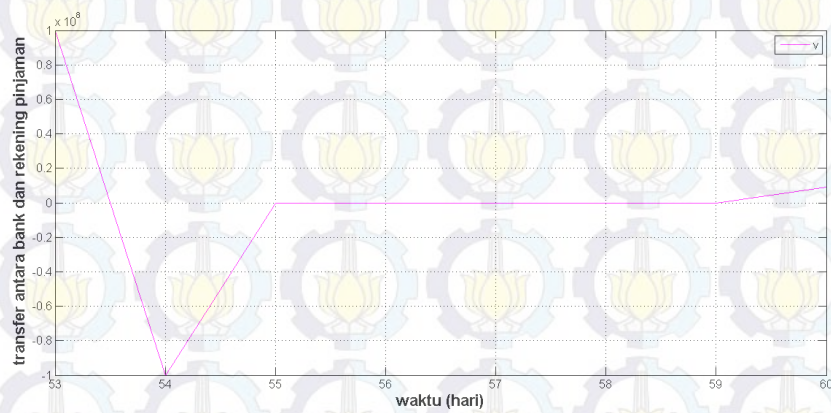
Gambar 4.15 Nilai p_1 dan q_1 untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



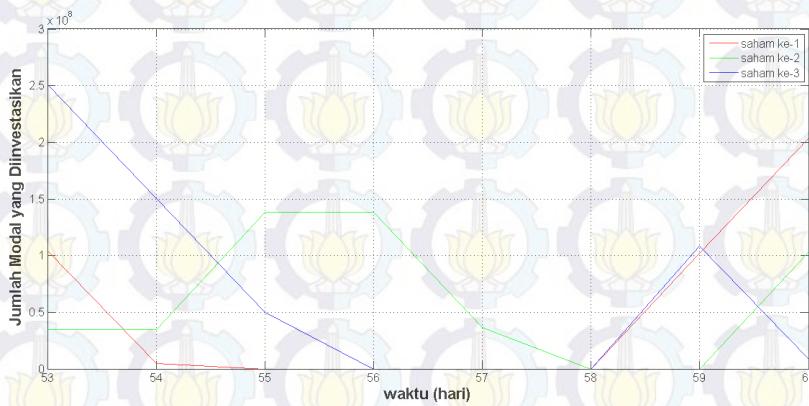
Gambar 4.16 Nilai p_2 dan q_2 untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



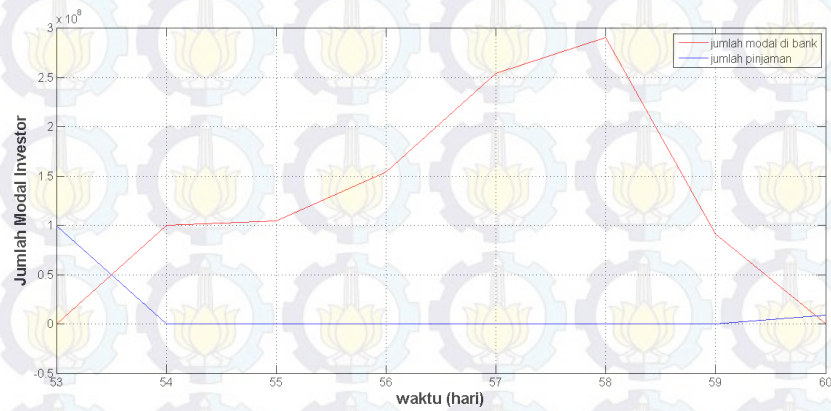
Gambar 4.17 Nilai p_3 dan q_3 untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



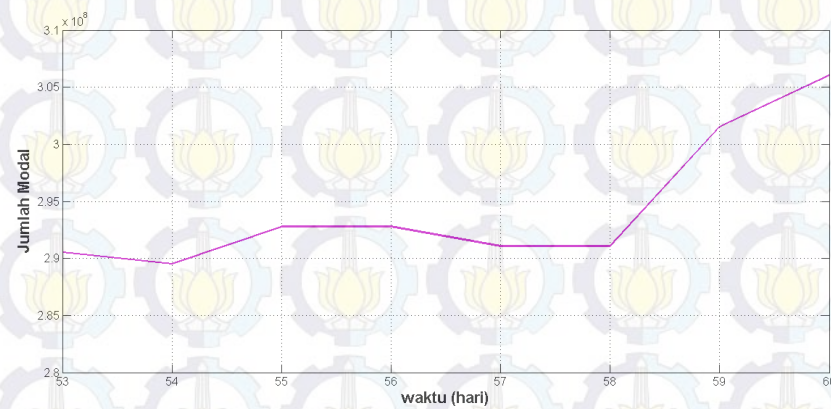
Gambar 4.18 Nilai v untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.19 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.20 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko dan pinjaman hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.21 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman

Berdasarkan Tabel 4.4, dapat diketahui bahwa pada hari ke-55 (15 Agustus 2013) sampai dengan hari ke-58 (20 Agustus 2013), harga saham Unilever menunjukkan tren turun, sehingga untuk menghindarkan investor dari kerugian yang terlalu besar pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Unilever.

Berdasarkan Tabel 4.5, diketahui bahwa nilai p_1 untuk hari ke-55 sampai dengan hari ke-58 adalah 0, yang berarti tidak ada proses pembelian untuk saham Unilever. Sedangkan nilai q_1 untuk hari ke-55 adalah 4.485.645, dan untuk hari ke-56 sampai dengan hari ke-58 adalah 0. Hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk menjual seluruh saham Unilever yang dimiliki serta tidak melakukan proses jual beli saham Unilever mulai hari ke-55 sampai dengan hari ke-58. Ketika harga saham Unilever kembali naik pada hari ke-59, didapatkan

nilai p_1 adalah 1×10^8 , hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Unilever. Pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58 nilai x_1 adalah 0.

Tabel 4.4 Harga dan *return* saham harian serta total modal investor pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58

Tanggal	Harga Saham			Return Saham			Total Modal Investor
	Unilever	PGN	SI	Unilever	PGN	SI	
15 Agustus 2013	30700	5700	15300	-0,0176	0,02702	-0,00649	292.790.477
16 Agustus 2013	30700	5700	14800	0	0	-0,03267	292.785.115
19 Agustus 2013	29200	5450	13100	-0,04885	-0,04385	-0,11486	291.086.361
20 Agustus 2013	28900	5100	12450	-0,01027	-0,06422	-0,04961	291.087.741

Tabel 4.5 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3, x_4, x_5$ dan v pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58

Variabel	Tanggal			
	15 Agustus 2013	16 Agustus 2013	19 Agustus 2013	20 Agustus 2013
x_1	0	0	0	0
p_1	0	0	0	0
q_1	4.485.645	0	0	0
x_2	138.449.531	138.449.531	36.763.148	0
p_2	100.000.000	0	0	0
q_2	0	0	100.000.000	36.763.148
x_3	49.961.076	0	0	0
p_3	0	0	0	0
q_3	100.000.000	49.961.076	0	0
x_4	104.379.869	154.335.583	254.323.213	291.087.741
x_5	0	0	0	0
v	-31.009	0	0	0

Berdasarkan Tabel 4.5, dapat dilihat bahwa pada hari ke-55 (15 Agustus 2013) sampai dengan hari ke-58 (20 Agustus 2013) harga saham PGN menunjukkan tren fluktuatif. Pada hari ke-55 ketika harga saham PGN naik, pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham PGN. Hal ini dapat dilihat dari Tabel 4.6, di mana nilai p_2 untuk hari ke-55 bernilai 1×10^8 .

Ketika harga saham PGN tetap pada hari ke-56, pengontrol MPC memutuskan untuk tidak menjual saham yang dimiliki, dan ketika harga saham PGN turun pada hari ke-57 dan hari ke-58 pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham PGN. Pada hari ke-55 sampai hari ke-58 nilai x_2 bergerak fluktuatif, jika harga saham naik nilai x_2 bertambah sedangkan jika harga saham turun nilai dari x_2 berkurang.

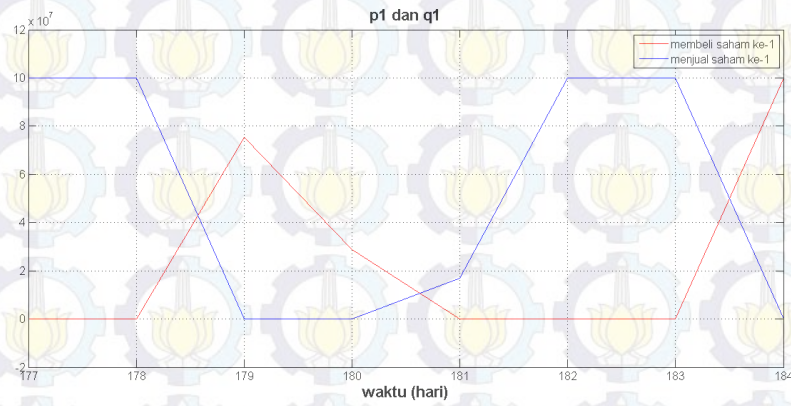
Harga saham Semen Indonesia juga menunjukkan tren turun pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58, sehingga pengontrol MPC melakukan hal yang sama seperti pada x_1 . Berdasarkan Tabel 4.5, diketahui bahwa nilai p_3 untuk hari ke-55 sampai dengan hari ke-58 adalah 0, yang berarti tidak ada proses pembelian untuk saham Semen Indonesia. Sedangkan nilai q_3 untuk hari ke-55 dan hari ke-56 masing-masing adalah 1×10^8 dan 49.961.076, sedangkan untuk hari ke-57 dan hari ke-58 adalah 0.

Hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk menjual seluruh saham Semen Indonesia yang dimiliki serta tidak melakukan proses jual beli saham Semen Indonesia mulai hari ke-57 sampai dengan hari ke-58. Ketika harga saham Semen Indonesia kembali naik pada hari ke-59, didapatkan nilai p_3 adalah 1×10^8 , hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Indonesia.

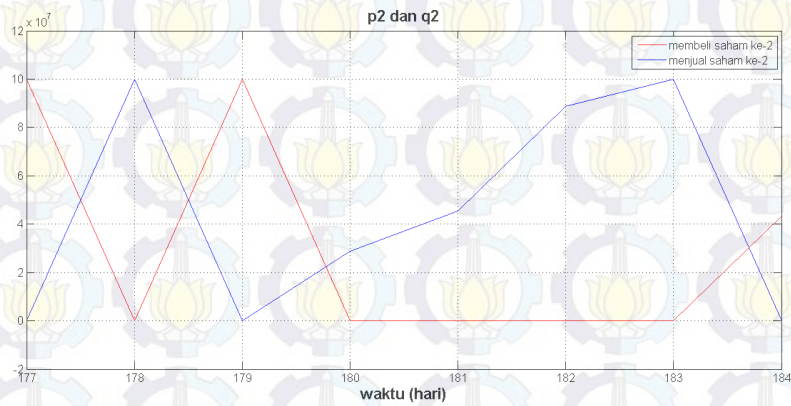
Sebagai akibat dari kontrol tersebut, maka jumlah modal investor di bank mengalami kenaikan setiap harinya mulai hari ke-55 sampai dengan hari ke-58 seperti yang terlihat pada Tabel 4.5. Hal ini terjadi karena pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham dari ketiga perusahaan dan mentransfer uang hasil penjualan saham tersebut ke rekening bank. Jumlah pinjaman investor pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58 adalah 0. Jumlah seluruh modal investor yang merupakan *output* dari sistem juga menunjukkan tren menurun akibat turunnya harga saham ketiga perusahaan.

4.3.3 Hasil Simulasi Portofolio Saham dengan Pinjaman pada Hari ke-177 sampai Hari ke-184

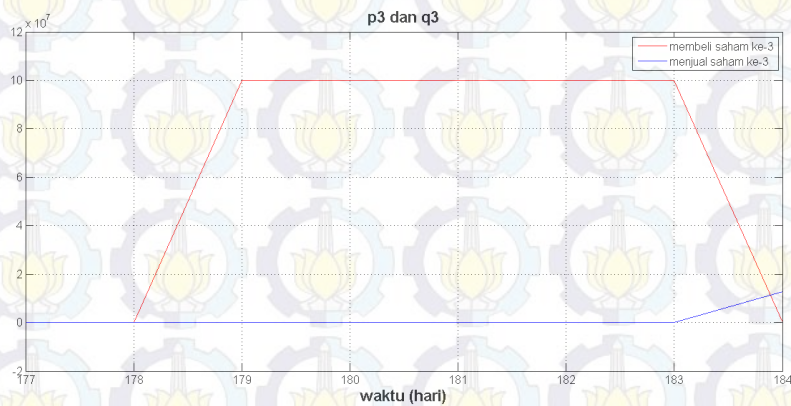
Nilai dari seluruh *state*, kontrol, serta *output* dari sistem untuk hari ke-177 (3 Februari 2014) sampai dengan hari ke-184 (12 Februari 2014) pada portofolio saham dengan pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.22 sampai dengan Gambar 4.28.



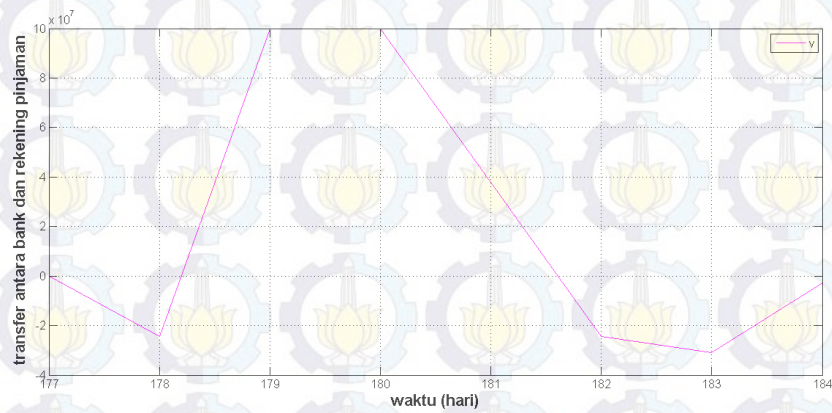
Gambar 4.22 Nilai p_1 dan q_1 untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



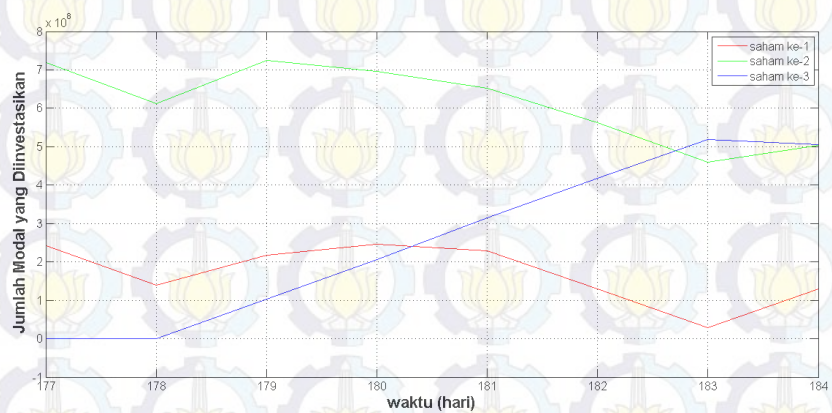
Gambar 4.23 Nilai p_2 dan q_2 untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



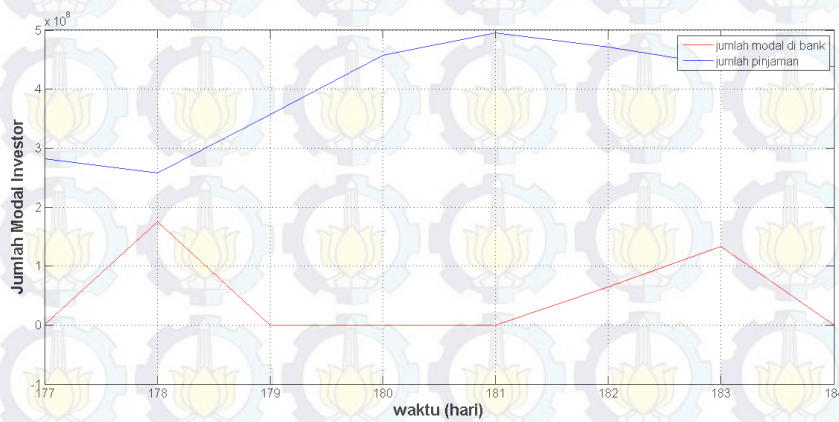
Gambar 4.24 Nilai p_3 dan q_3 untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



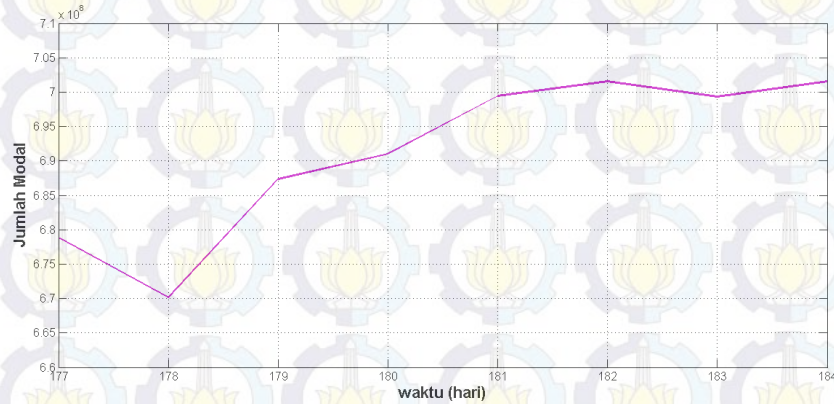
Gambar 4.25 Nilai v untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.26 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.27 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko dan pinjaman hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.28 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman

Berdasarkan Tabel 4.6, dapat diketahui bahwa pada hari ke-179 (5 Februari 2014) sampai dengan hari ke-182 (10 Februari 2014) harga saham Semen Indonesia menunjukkan tren naik, sehingga agar investor mendapatkan keuntungan dari kenaikan harga saham tersebut pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Semen Indonesia. Sedangkan harga saham Unilever dan PGN menunjukkan tren naik dari hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 dan turun pada hari ke-182.

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat dilihat bahwa nilai p_1 untuk hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 masing-masing adalah 75.415.817, 28.694.935, 0, dan 0, sedangkan nilai q_1 untuk hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 masing-masing adalah 0, 0, 16.805.873, dan 1×10^8 .

Tabel 4.6 Harga dan *return* saham harian serta total modal investor pada hari ke-179 sampai dengan hari ke-182

Tanggal	Harga Saham			Return Saham			Total Modal Investor
	Unilever	PGN	SI	Unilever	PGN	SI	
5 Februari 2014	28125	4820	14425	0,00987	0,01580	0,03963	687.342.590
6 Februari 2014	28200	4830	14550	0,00266	0,00207	0,00866	691.034.003
7 Februari 2014	28225	4830	14950	0,00088	0	0,02749	699.456.362
10 Februari 2014	28100	4825	15075	-0,00442	-0,00103	0,00836	701.560.640

Tabel 4.7 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3, x_4, x_5$ dan v pada hari ke-179 sampai dengan hari ke-182

Variabel	Tanggal			
	5 Februari 2014	6 Februari 2014	7 Februari 2014	10 Februari 2014
x_1	216.886.829	246.236.649	229.634.172	129.060.061
p_1	75.415.817	28.694.935	0	0
q_1	0	0	16.805.873	100.000.000
x_2	723.950.178	696.666.132	651.275.683	562.040.433
p_2	100.000.000	0	0	0
q_2	0	28.726.420	45.390.448	88.652.825
x_3	103.963.964	205.731.416	314.136.403	417.599.082
p_3	100.000.000	100.000.000	100.000.000	100.000.000
q_3	0	0	0	0
x_4	0	0	0	64.168.793
x_5	357.458.381	457.600.193	495.589.896	471.307.731
v	100.000.000	100.000.000	37.836.117	-24.428.225

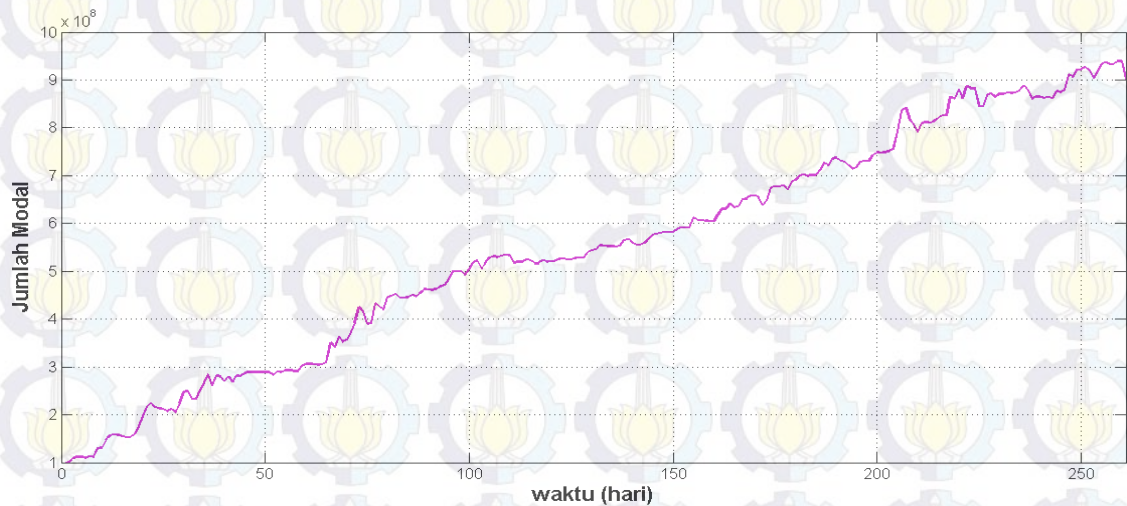
Berdasarkan Tabel 4.7 diketahui bahwa nilai p_2 untuk hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 masing-masing adalah 1×10^8 , 0, 0, dan 0, sedangkan nilai q_2 untuk hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 masing-masing adalah 0, 28.726.420, 45.390.448, dan 88.652.825. Nilai p_3 untuk hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 adalah 1×10^8 , sedangkan nilai q_3 untuk hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 adalah 0. Pada hari ke-179, pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham dari ketiga perusahaan. Pada hari ke-180, pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham PGN serta membeli saham Unilever dan Semen Indonesia. Hal ini terjadi pada hari tersebut nilai *return* saham PGN memiliki nilai yang terkecil jika dibandingkan dengan *return* kedua saham lainnya.

Berikutnya pada hari ke-181 ketika *return* saham Semen Indonesia memiliki nilai terbesar jika dibandingkan dengan kedua saham lainnya, pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Unilever dan PGN serta membeli saham Semen Indonesia. Pada hari ke-182 ketika harga saham Unilever dan PGN turun sedangkan harga saham Semen Indonesia naik, pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Unilever dan PGN serta membeli saham Semen Indonesia.

Berdasarkan Tabel 4.7, diketahui bahwa pada hari ke-179 sampai dengan hari ke-182 jumlah modal investor di bank masing-masing adalah sebesar 0, 0, 0, dan 64.168.793, sedangkan jumlah pinjaman investor masing-masing adalah 357.458.381, 457.600.193,

495.589.896 dan 471.307.731. Jumlah seluruh modal investor yang merupakan *output* dari sistem terus bertambah dari hari ke-179 sampai dengan hari ke-182.

Jumlah modal yang dimiliki oleh investor pada seluruh asetnya dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor di dalam portofolio saham dengan pinjaman

Berdasarkan Gambar 4.29, dapat dilihat bahwa modal yang dimiliki oleh investor pada seluruh asetnya mengalami kenaikan. Pada kondisi awal jumlah modal yang dimiliki investor adalah 1×10^8 , dan pada kondisi akhir jumlah modal yang dimiliki investor adalah 902.073.382. Kenaikan ini terjadi karena jumlah modal yang diinvestasikan pada portofolio saham berusaha untuk mencapai *reference trajectory* yang ditetapkan sebelumnya, yaitu 1×10^9 . Pada beberapa hari terlihat bahwa modal investor mengalami penurunan, hal ini terjadi karena pada hari tersebut *return* dari beberapa saham bernilai negatif, sehingga investor mengalami kerugian. Akan tetapi, kerugian ini dapat ditutupi oleh keuntungan di beberapa hari berikutnya, sehingga secara keseluruhan jumlah modal investor mengalami kenaikan.

4.4. Hasil Simulasi pada Optimisasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman

Untuk mengetahui pengaruh variabel pinjaman modal pada optimisasi portofolio saham, maka pada sub bab ini dilakukan uji simulasi pada portofolio saham tanpa adanya pinjaman. Data, nilai inisialisasi awal dan parameter yang digunakan pada kasus ini sama dengan portofolio dengan adanya pinjaman yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya. Dengan menggunakan Persamaan (4.1) dan (4.2) maka dapat didefinisikan kembali persamaan ruang keadaan sebagai berikut

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1|k) = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k|k) \quad (4.18)$$

$$\tilde{\mathbf{y}}(k|k) = \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) \quad (4.19)$$

dengan

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1) = \begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \\ x_3(k+1) \\ x_4(k+1) \end{bmatrix}, \tilde{\mathbf{x}}(k) = \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \\ x_4(k) \end{bmatrix}, \tilde{\mathbf{u}}(k) = \begin{bmatrix} p_1(k) \\ p_2(k) \\ p_3(k) \\ q_1(k) \\ q_2(k) \\ q_3(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 + \eta_1(k) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 + \eta_2(k) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 + \eta_3(k) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 + r_1(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 + \eta_1(k) & 0 & 0 & -(1 + \eta_1(k)) & 0 & 0 \\ 0 & 1 + \eta_2(k) & 0 & 0 & -(1 + \eta_2(k)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 + \eta_3(k) & 0 & 0 & -(1 + \eta_3(k)) \\ (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C} = [1 \ 1 \ 1 \ 1].$$

Kendala pada portofolio saham tanpa adanya pinjaman didefinisikan sebagai berikut

$$0 \leq p_i(k) \leq 1 \times 10^8, \text{ dengan } i = 1, 2, 3 \quad (4.20)$$

$$0 \leq q_i(k) \leq 1 \times 10^8, \text{ dengan } i = 1, 2, 3 \quad (4.21)$$

$$x_4(k) - (1 + \alpha) \sum_{i=1}^3 p_i(k) + (1 - \beta) \sum_{i=1}^3 q_i(k) \geq 0, \text{ dengan } i = 1, 2, 3 \quad (4.22)$$

$$x_i(k) + p_i(k) - q_i(k) \geq 0, \text{ dengan } i = 1, 2, 3. \quad (4.23)$$

Bentuk Pertidaksamaan (4.20) sampai dengan Pertidaksamaan (4.23) dapat dituliskan kembali dalam bentuk matriks menjadi

$$\mathbf{P}_2 \tilde{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{h}_2 \quad (4.24)$$

$$\mathbf{b}_3 \leq \mathbf{S}_2 \tilde{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{b}_4 \quad (4.25)$$

dengan

$$\tilde{\mathbf{u}}(k) = [p_1(k), p_2(k), p_3(k), q_1(k), q_2(k), q_3(k)]^T$$

$$\mathbf{P}_2 = \begin{bmatrix} 1 + \alpha & 1 + \alpha & 1 + \alpha & -(1 - \beta) & -(1 - \beta) & -(1 - \beta) \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{h}_2 = [x_4(k), x_1(k), x_2(k), x_3(k)]^T$$

$$\mathbf{S}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b}_3 = [0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$$

$$\mathbf{b}_4 = [1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8]^T.$$

Prediksi nilai kontrol optimal didapatkan dengan menyelesaikan optimisasi dalam bentuk *quadratic programming* berikut:

$$\text{minimumkan} \quad \mathbf{J}(\hat{\mathbf{u}}(k)) = \hat{\mathbf{u}}^T(k) \mathbf{H} \hat{\mathbf{u}}(k) + 2\mathbf{f}^T \hat{\mathbf{u}}(k) \quad (4.26)$$

dengan kendala

$$\mathbf{P} \hat{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{h} \quad (4.27)$$

$$\mathbf{B}_3 \leq \mathbf{S} \hat{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{B}_4 \quad (4.28)$$

dengan

$$\hat{\mathbf{u}}(k) = [\hat{\mathbf{u}}(k|k), \hat{\mathbf{u}}(k+1|k), \dots, \hat{\mathbf{u}}(k+N_p-1|k)]^T$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_2 & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \dots & \mathbf{0}_{4 \times 6} \\ \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{P}_2 & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \dots & \mathbf{0}_{4 \times 6} \\ \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{P}_2 & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \dots & \mathbf{0}_{4 \times 6} \\ \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{P}_2 & \dots & \mathbf{0}_{4 \times 6} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \dots & \mathbf{P}_2 \end{bmatrix}_{4N_p \times 6N_p}, \mathbf{h} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_2 \\ \mathbf{h}_2 \\ \mathbf{h}_2 \\ \mathbf{h}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{h}_2 \end{bmatrix}_{4N_p \times 1}$$

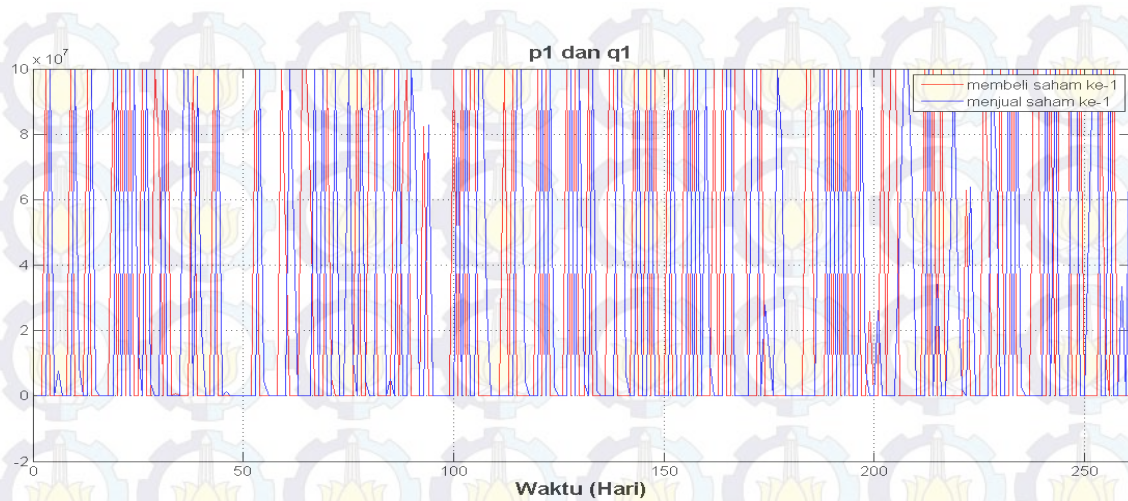
$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_2 & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \dots & \mathbf{0}_{6 \times 6} \\ \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{S}_2 & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \dots & \mathbf{0}_{6 \times 6} \\ \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{S}_2 & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \dots & \mathbf{0}_{6 \times 6} \\ \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{S}_2 & \dots & \mathbf{0}_{6 \times 6} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \dots & \mathbf{S}_2 \end{bmatrix}_{6N_p \times 6N_p}, \mathbf{B}_3 = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_3 \\ \mathbf{b}_3 \\ \mathbf{b}_3 \\ \mathbf{b}_3 \\ \vdots \\ \mathbf{b}_3 \end{bmatrix}_{6N_p \times 1}, \mathbf{B}_4 = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_4 \\ \mathbf{b}_4 \\ \mathbf{b}_4 \\ \mathbf{b}_4 \\ \vdots \\ \mathbf{b}_4 \end{bmatrix}_{6N_p \times 1}$$

$\mathbf{0}_{4 \times 6}$: matriks nol berukuran 4×6

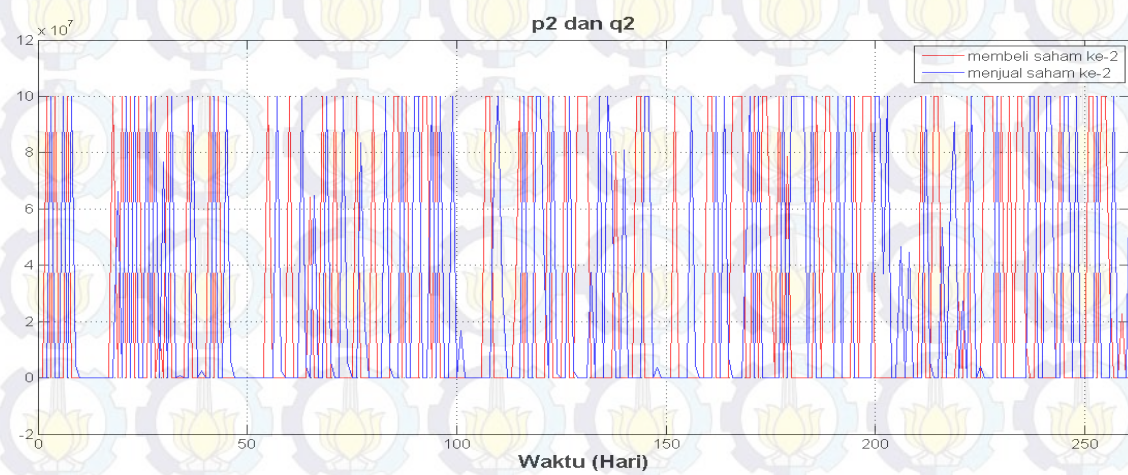
$\mathbf{0}_{6 \times 6}$: matriks nol berukuran 6×6 .

Langkah-langkah berikutnya sama seperti yang telah dilakukan pada permasalahan optimisasi portofolio saham dengan adanya pinjaman. Dengan menggunakan Persamaan (4.18) serta data dari parameter dapat diketahui nilai dari matriks \mathbf{A} dan \mathbf{B} . Selanjutnya didapatkan bahwa matriks $[\mathbf{B} \mid \mathbf{AB} \mid \mathbf{A}^2\mathbf{B} \mid \mathbf{A}^3\mathbf{B}]$ memiliki rank 4, yang berarti bahwa sistem dalam keadaan terkontrol. Hal ini lah yang memungkinkan penerapan MPC linier dalam permasalahan optimisasi portofolio saham tanpa adanya pinjaman. Berikutnya, dengan menggunakan data dari parameter dan persamaan (4.18) serta (4.19) didapatkan pula bahwa matriks $[\mathbf{C}, \mathbf{CA}, \mathbf{CA}^2, \mathbf{CA}^3]^T$ memiliki rank 4. Hal ini berarti sistem teramat. Tujuan dari optimisasi portofolio saham tanpa adanya pinjaman adalah membuat *output* dari sistem, dalam hal ini merupakan total seluruh modal yang dimiliki oleh investor, terus bertambah setiap harinya dengan mengikuti *reference trajectory* yang diberikan serta menjaga kontrol dari sistem agar tetap berada dalam batas *constraint* yang ditetapkan.

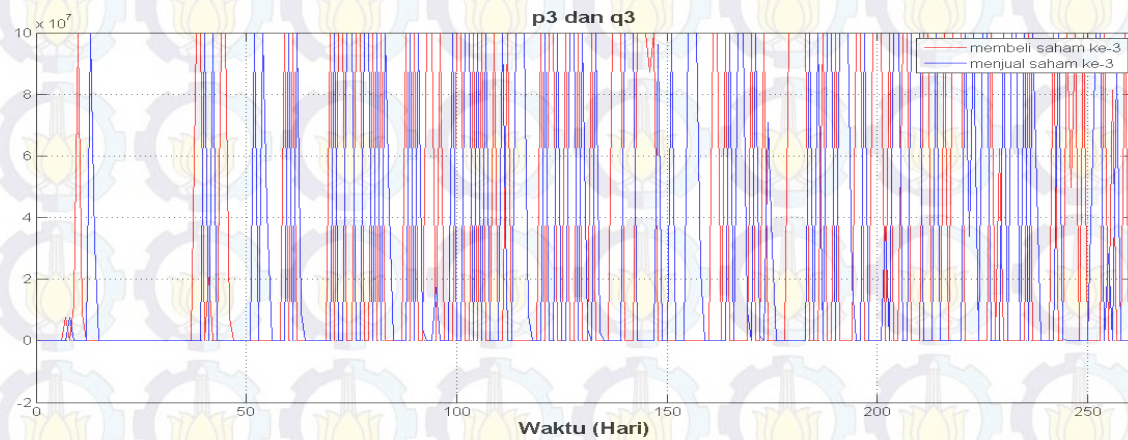
Hasil simulasi pada kontrol dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.30 sampai dengan Gambar 4.32.



Gambar 4.30 Nilai p_1 dan q_1 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



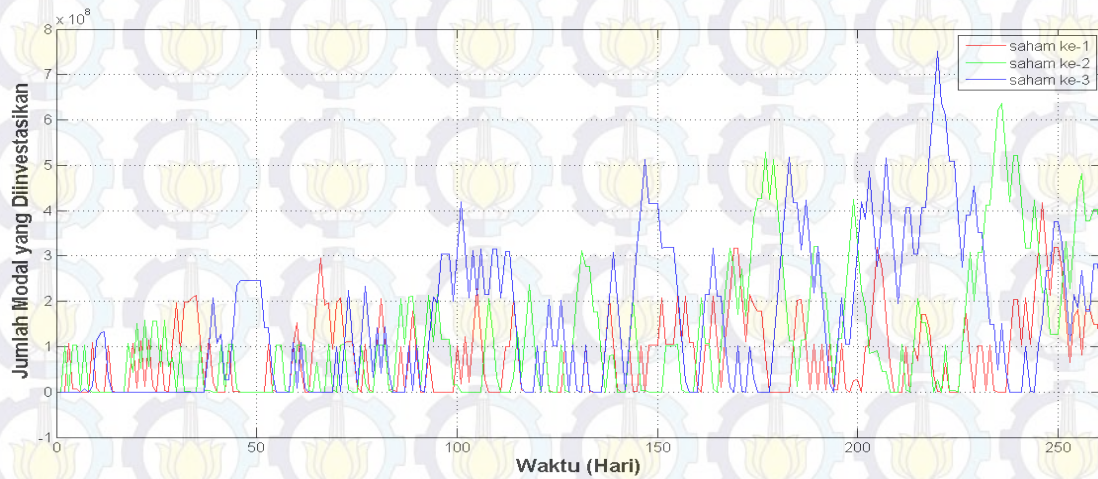
Gambar 4.31 Nilai p_2 dan q_2 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



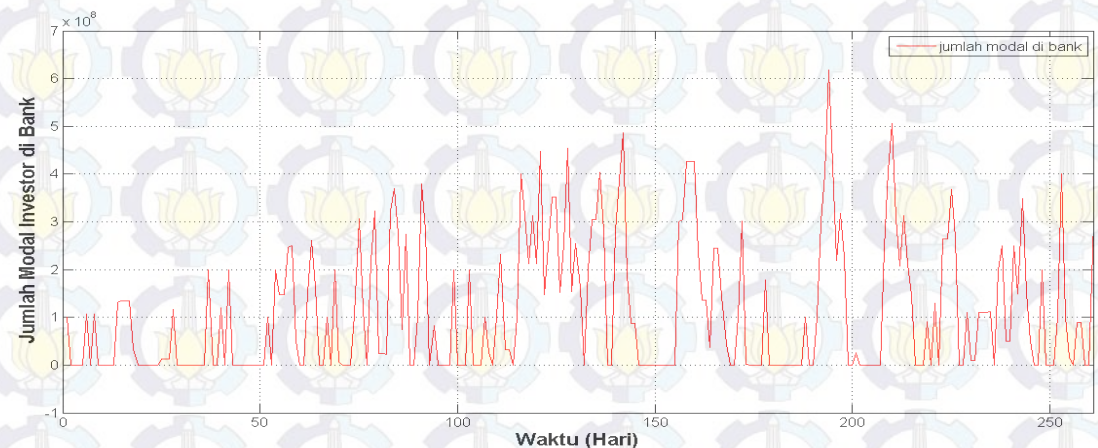
Gambar 4.32 Nilai p_3 dan q_3 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

Berdasarkan Gambar 4.30 sampai dengan Gambar 4.32 diketahui bahwa nilai seluruh kontrol dari sistem berada dalam batas *constraint* yang diberikan. Seluruh nilai $p_1(k)$, $p_2(k)$, $p_3(k)$, $q_1(k)$, $q_2(k)$, dan $q_3(k)$ berada diantara nilai minimumnya yaitu 0, dan nilai maksimumnya yaitu 1×10^8 . Nilai *reference trajectory* yang besar menyebabkan kontrol dari sistem selalu berusaha mencapai nilai maksimumnya.

Gambar 4.33 dan Gambar 4.34 menunjukkan perubahan modal yang dimiliki oleh investor pada masing-masing saham serta bank.



Gambar 4.33 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

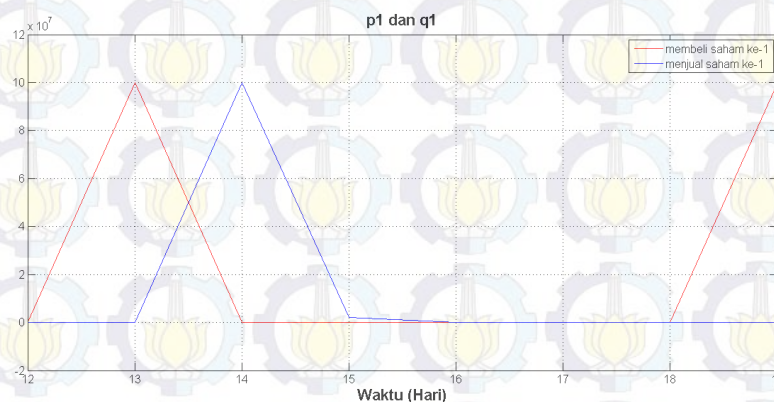


Gambar 4.34 Perubahan modal investor di aset bebas risiko di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

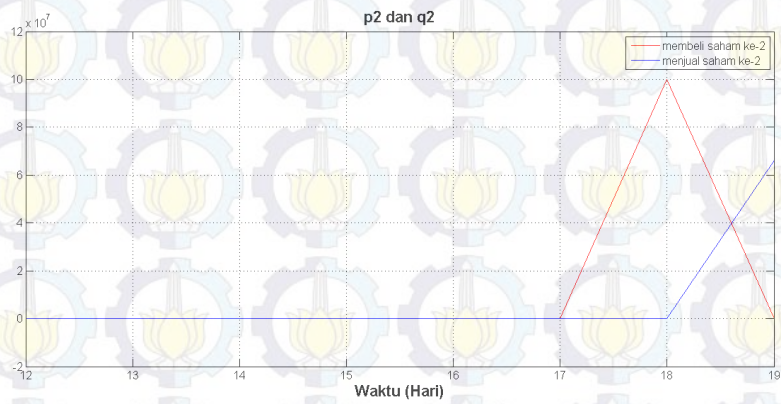
Berdasarkan Gambar 4.33 terlihat bahwa nilai *return* saham harian berpengaruh terhadap jumlah modal yang diinvestasikan pada masing-masing saham setiap harinya. Pengontrol MPC berusaha untuk mengurangi kerugian yang akan terjadi pada investor ketika harga saham pada salah satu perusahaan mengalami penurunan. Berdasarkan Gambar 4.34 terlihat bahwa perubahan modal investor di bank menunjukkan perubahan yang kecil sampai dengan hari ke-50. Hal ini terjadi karena investor tidak mendapatkan tambahan pinjaman, sehingga untuk membentuk portofolio saham investor hanya menggunakan modal yang terdapat di bank saja. Setelah hari ke-50 perubahan modal investor di bank menunjukkan perubahan yang besar, hal ini terjadi karena investor telah mendapatkan keuntungan dari investasi dari 50 hari sebelumnya, sehingga jumlah modal yang dimiliki investor mengalami kenaikan.

4.4.1 Hasil Simulasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman pada Hari ke-12 sampai Hari ke-19

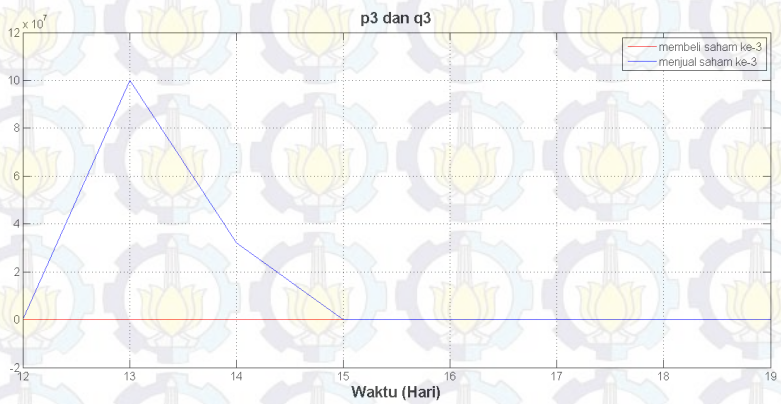
Nilai dari seluruh *state*, kontrol, serta output dari sistem untuk hari ke-12 (17 Juni 2013) sampai dengan hari ke-19 (26 Juni 2013) pada portofolio saham tanpa pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.35 sampai dengan Gambar 4.40.



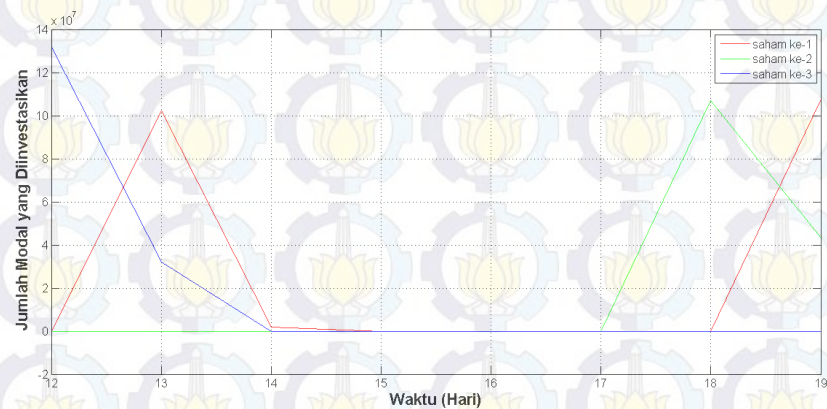
Gambar 4.35 Nilai p_1 dan q_1 untuk hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



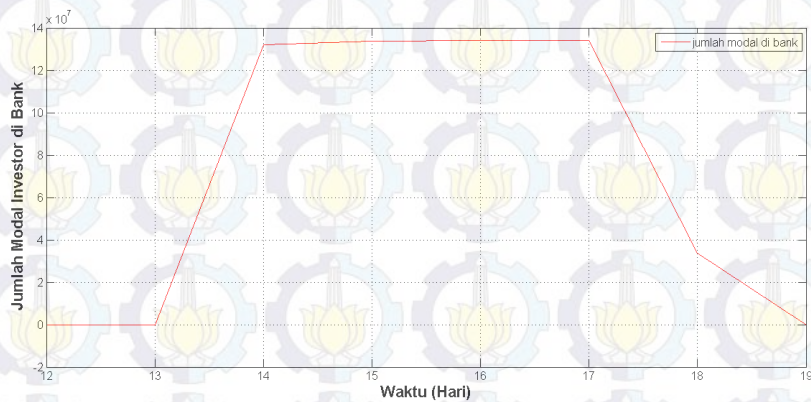
Gambar 4.36 Nilai p_2 dan q_2 untuk hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



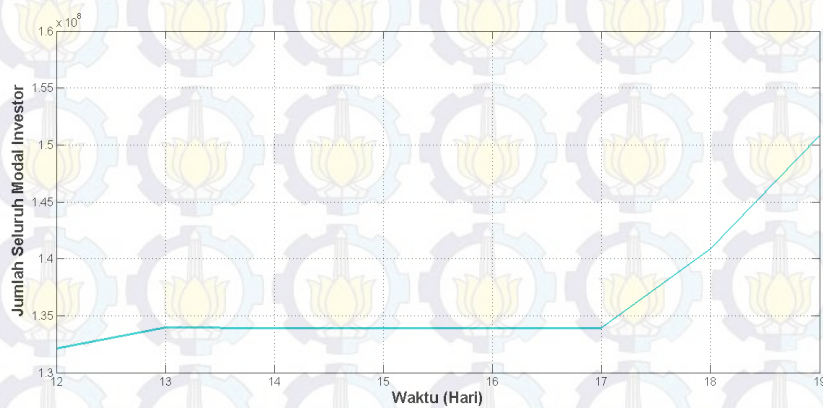
Gambar 4.37 Nilai p_3 dan q_3 untuk hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.38 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.39 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.40 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

Berdasarkan Tabel 4.8, dapat diketahui bahwa pada hari ke-14 (19 Juni 2013) sampai dengan hari ke-17 (24 Juni 2013), harga saham dari ketiga perusahaan menunjukkan tren turun, sehingga untuk menghindarkan investor dari kerugian yang terlalu besar pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham ketiga perusahaan tersebut.

Berdasarkan Tabel 4.9, diperoleh nilai p_1 untuk hari ke-14 sampai dengan hari ke-17 adalah 0, yang berarti tidak ada proses pembelian untuk saham Unilever. Sedangkan nilai q_1 untuk hari ke-14 dan hari ke-15 masing-masing adalah 1×10^8 dan 2.000.805, serta untuk hari ke-16 dan hari ke-17 adalah 0. Hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk menjual seluruh saham Unilever yang dimiliki ($x_1 = 0$) akibat dari penurunan harga saham Unilever mulai hari ke-14 sampai dengan hari ke-17. Ketika harga saham Unilever kembali

naik pada hari ke-18, didapatkan nilai p_1 adalah 1×10^8 , hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Unilever.

Tabel 4.8 Harga dan *return* saham harian serta total modal investor pada hari ke-14 sampai dengan hari ke-17

Tanggal	Harga Saham			Return Saham			Total Modal Investor
	Unilever	PGN	SI	Unilever	PGN	SI	
19 Juni 2013	29000	5300	17800	-0,01694	-0,03636	-0,00280	133.892.301
20 Juni 2013	27550	5100	17500	-0,05	-0,03773	-0,01685	133.895.918
21 Juni 2013	27250	4800	16100	-0,01088	-0,05882	-0,08	133.899.935
24 Juni 2013	26400	4650	15600	-0,03119	-0,03125	-0,03105	133.903.952

Tabel 4.9 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3$ dan x_4 pada hari ke-14 sampai dengan hari ke-17

Variabel	Tanggal			
	19 Juni 2013	20 Juni 2013	21 Juni 2013	24 Juni 2013
x_1	2.000.805	0	0	0
p_1	0	0	0	0
q_1	100.000.000	2.000.805	0	0
x_2	0	0	0	0
p_2	0	0	0	0
q_2	0	0	0	0
x_3	0	0	0	0
p_3	0	0	0	0
q_3	31.913.922	0	0	0
x_4	131.891.496	133.895.918	133.899.935	133.903.952

Ketika harga saham PGN menunjukkan tren menurun pada hari ke-14 sampai dengan hari ke-17, pengontrol MPC memutuskan untuk tidak melakukan proses jual beli saham PGN. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.9, di mana p_2 dan q_2 yang bernilai 0 pada 4 hari tersebut. Ketika harga saham PGN kembali naik pada hari ke-18, didapatkan nilai p_2 adalah 1×10^8 , hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham PGN. Karena sejak hari ke-9 pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham PGN, maka x_2 bernilai 0 pada 4 hari tersebut.

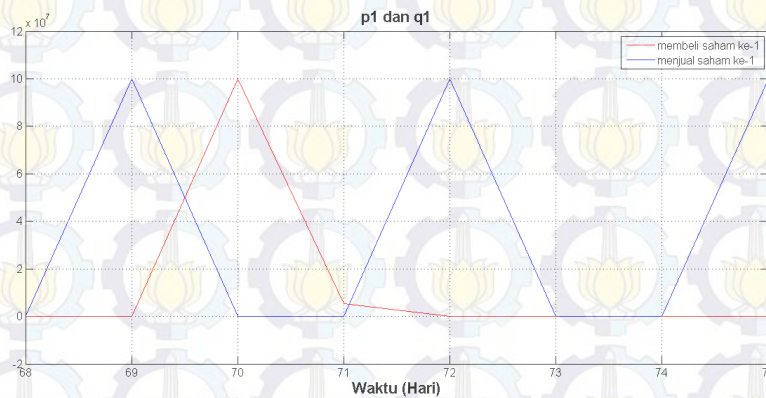
Berdasarkan Tabel 4.9, nilai p_3 untuk hari ke-14 adalah 31.913.922 yang berarti pengontrol MPC memutuskan untuk menjual seluruh saham yang dimiliki investor di Semen Indonesia. Akibat dari penurunan harga saham Semen Indonesia, maka tidak ada proses jual

beli saham Semen Indonesia mulai hari ke-15 sampai dengan hari ke-17. Hal ini dapat dilihat dari p_3 , q_3 , dan x_3 yang bernilai 0 sejak hari ke-15.

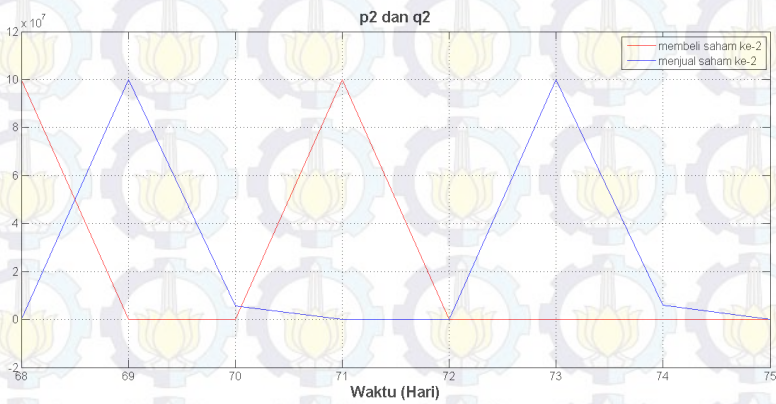
Sebagai akibat dari kontrol tersebut, maka jumlah modal investor di bank mengalami kenaikan setiap harinya mulai hari ke-14 sampai dengan hari ke-17. Hal ini terjadi karena pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham dari ketiga perusahaan dan mentransfer uang hasil penjualan saham tersebut ke rekening bank. Meskipun harga ketiga saham mengalami penurunan, namun jumlah seluruh modal investor yang merupakan *output* dari sistem terus bertambah mulai hari ke-14 sampai dengan hari ke-17. Penjualan saham dari ketiga perusahaan secara bersamaan serta tidak perlunya investor membayarkan sejumlah pinjaman uang menyebabkan modal investor justru mengalami kenaikan saat harga saham turun.

4.4.2 Hasil Simulasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman pada Hari ke-68 sampai Hari ke-75

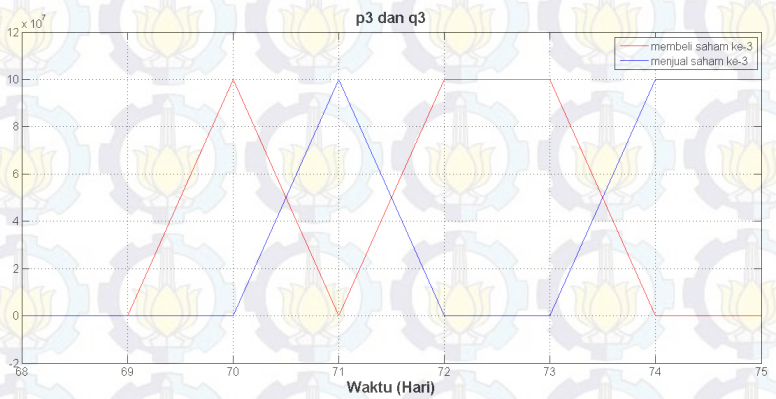
Nilai dari seluruh *state*, kontrol, serta output dari sistem untuk hari ke-68 (3 September 2013) sampai dengan hari ke-75 (12 September 2013) pada portofolio saham tanpa pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.41 sampai dengan Gambar 4.46.



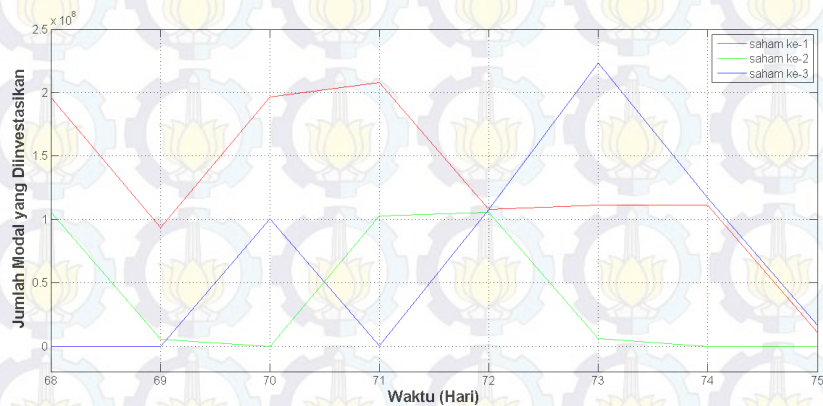
Gambar 4.41 Nilai p_1 dan q_1 untuk hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



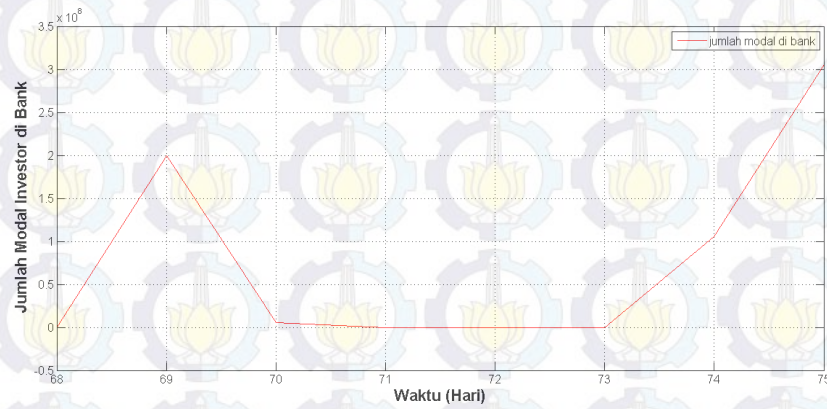
Gambar 4.42 Nilai p_2 dan q_2 untuk hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



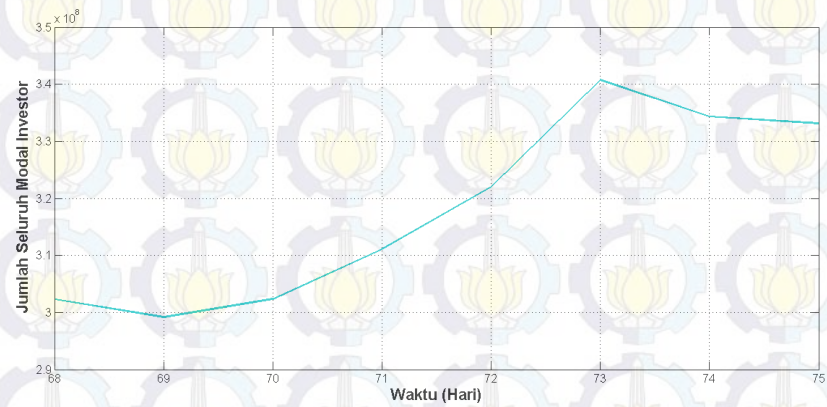
Gambar 4.43 Nilai p_3 dan q_3 untuk hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.44 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.45 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.46 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

Berdasarkan Tabel 4.10, dapat diketahui bahwa pada hari ke-70 (5 September 2013) sampai dengan hari ke-73 (10 September 2013), harga saham Unilever dan Semen Indonesia menunjukkan tren naik, sedangkan untuk harga saham PGN nilainya fluktuatif pada 4 hari tersebut.

Berdasarkan Tabel 4.11, terlihat bahwa nilai p_1 untuk hari ke-70 dan hari ke-71 masing-masing adalah 1×10^8 dan 5.495.416, sedangkan untuk hari ke-72 dan hari ke-73 adalah 0. Nilai q_1 untuk hari ke-70 dan hari ke-71 adalah 0, sedangkan untuk hari ke-72 dan hari ke-73 masing-masing adalah 1×10^8 dan 0. Nilai p_2 pada hari ke-70, 72, dan 73 adalah 0, sedangkan pada hari ke-71 adalah 1×10^8 . Nilai q_2 untuk hari ke-70 sampai dengan hari ke-73 masing-masing adalah 5.611.472, 0, 0, dan 1×10^8 . Nilai p_3 pada hari ke-70, 72, dan 73

adalah 1×10^8 , sedangkan pada hari ke-71 adalah 0. Nilai q_3 untuk hari ke-71 adalah 1×10^8 , sedangkan untuk hari ke-70, 72, dan 73 adalah 0.

Tabel 4.10 Harga dan *return* saham harian serta total modal investor pada hari ke-70 sampai dengan hari ke-73

Tanggal	Harga Saham			Return Saham			Total Modal Investor
	Unilever	PGN	SI	Unilever	PGN	SI	
5 September 2013	31000	5100	12350	0,01472	-0,02857	0,00406	302.375.344
6 September 2013	31900	5250	12550	0,02903	0,02941	0,01619	311.144.423
9 September 2013	32000	5400	13500	0,00313	0,02857	0,07569	321.983.339
10 September 2013	33000	5400	14500	0,03125	0	0,07407	340.729.533

Tabel 4.11 Nilai x_1 , p_1 , q_1 , x_2 , p_2 , q_2 , x_3 , p_3 , q_3 dan x_4 pada hari ke-70 sampai dengan hari ke-73

Variabel	Tanggal			
	5 September 2013	6 September 2013	9 September 2013	10 September 2013
x_1	196.432.324	207.790.159	108.128.059	111.465.802
p_1	100.000.000	5.495.416	0	0
q_1	0	0	100.000.000	0
x_2	0	102.941.176	105.841.201	5.841.201
p_2	0	0	100.000.000	0
q_2	5.611.472	0	0	100.000.000
x_3	100.406.504	413.087	108.014.077	223.422.528
p_3	100.000.000	0	100.000.000	100.000.000
q_3	0	100.000.000	0	0
x_4	5.536.514	0	0	0

Pada hari ke-70 pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham PGN, dan dana hasil penjualan tersebut digunakan untuk melakukan pembelian saham Unilever dan Semen Indonesia. Pada hari ke-71 ketika nilai *return* saham Unilever dan PGN memiliki nilai yang jauh lebih tinggi dibandingkan *return* saham Semen Indonesia, pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Semen Indonesia dan menggunakan dana tersebut untuk membeli saham Unilever dan PGN.

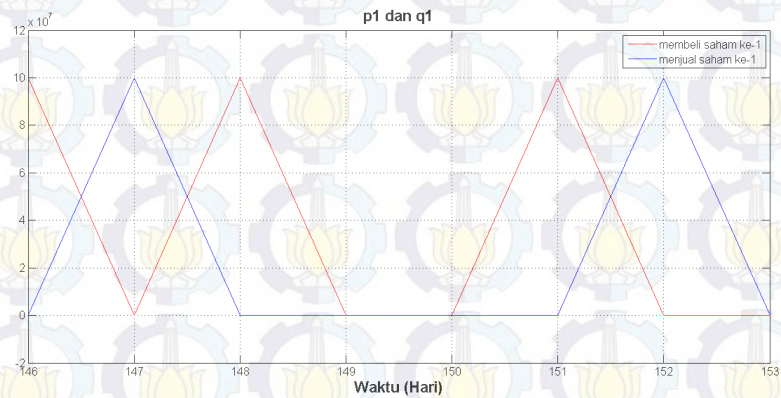
Sebaliknya pada hari ke-72 dan 73 ketika nilai *return* saham Semen Indonesia jauh lebih besar dibandingkan *return* kedua saham lainnya, pengontrol MPC memutuskan untuk

menjual saham Unilever dan PGN serta menggunakan dana tersebut untuk membeli saham Semen Indonesia.

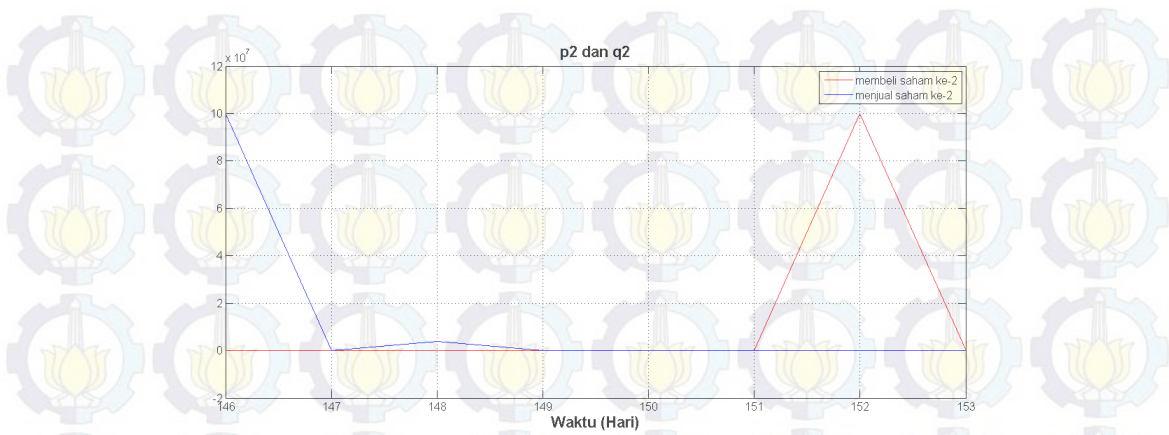
Sebagai akibat dari kontrol tersebut, maka jumlah modal investor di bank turun pada hari ke-71 sampai dengan hari ke-73. Hal ini terjadi karena dana yang dimiliki oleh investor digunakan untuk menutupi seluruh biaya transaksi pada proses jual beli saham selama 4 hari tersebut. Jumlah seluruh modal investor yang merupakan *output* dari sistem terus meningkat pada hari ke-70 sampai dengan hari ke-73 akibat dari kenaikan harga saham ketiga perusahaan.

4.4.3 Hasil Simulasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman pada Hari ke-146 sampai Hari ke-153

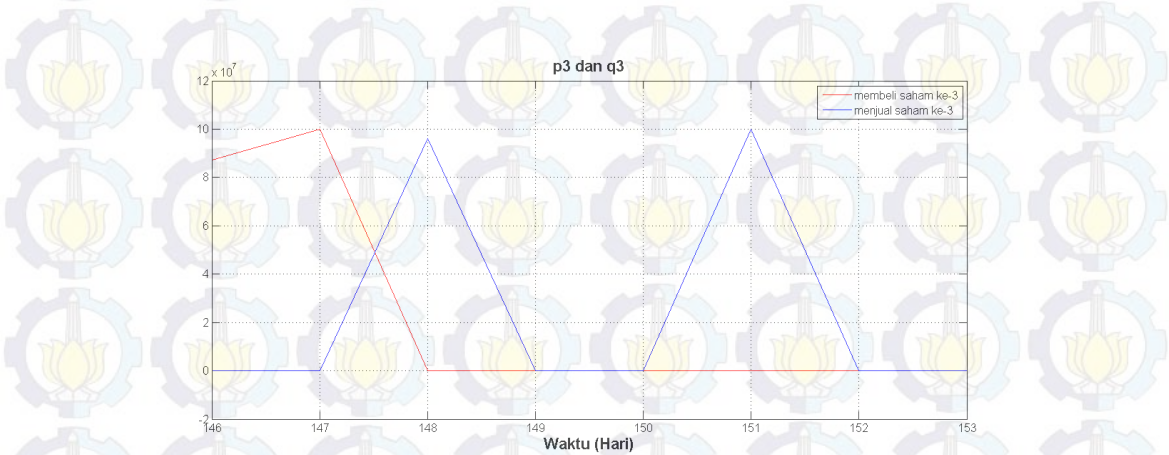
Nilai dari seluruh *state*, kontrol, serta output dari sistem untuk hari ke-146 (20 Desember 2013) sampai dengan hari ke-153 (31 Desember 2013) pada portofolio saham tanpa pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.47 sampai dengan Gambar 4.52.



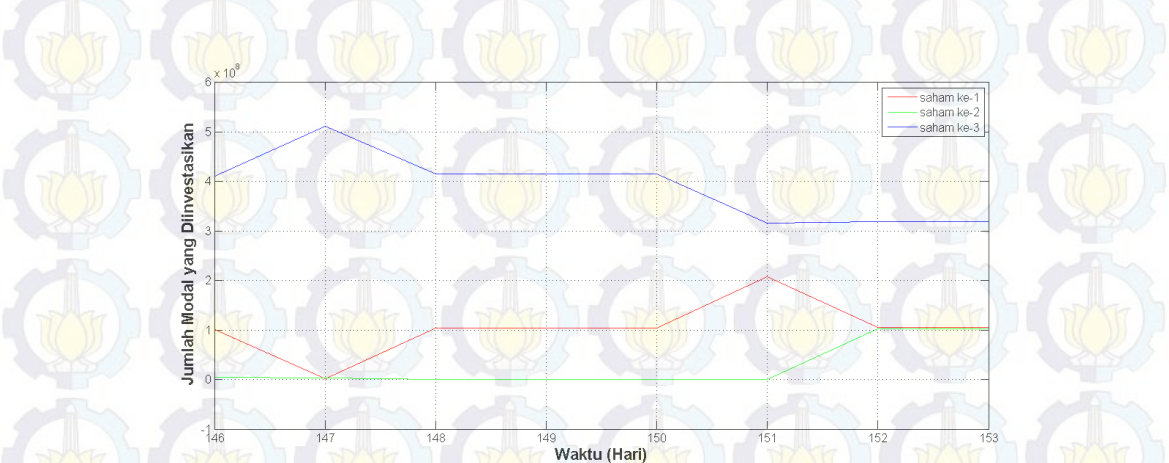
Gambar 4.47 Nilai p_1 dan q_1 untuk hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



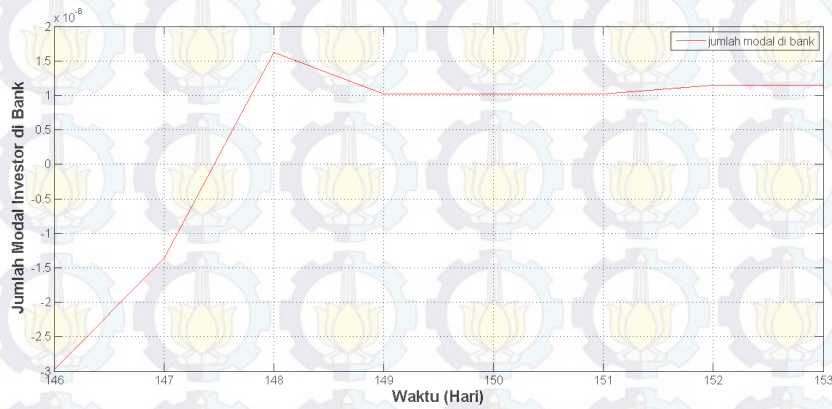
Gambar 4.48 Nilai p_2 dan q_2 untuk hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



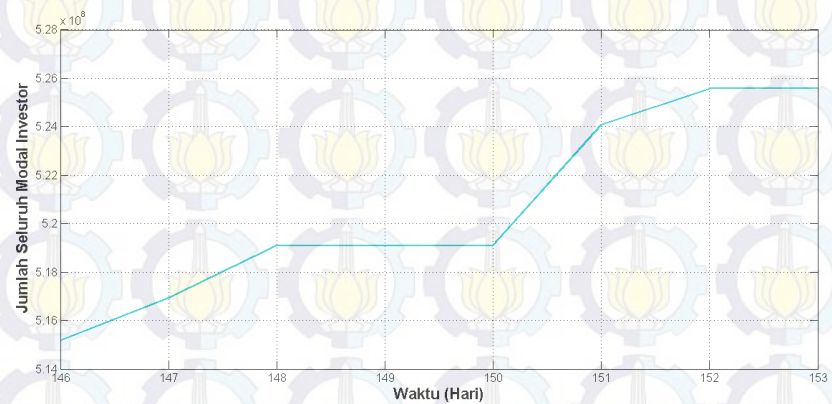
Gambar 4.49 Nilai p_3 dan q_3 untuk hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.50 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.51 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.52 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

Berdasarkan Tabel 4.12, dapat diketahui bahwa pada hari ke-148 (24 Desember 2013) dan hari ke-151 (27 Desember 2013), *return* saham Unilever bernilai positif, artinya adalah harga saham pada hari tersebut naik jika dibandingkan dengan hari sebelumnya. Sedangkan pada hari ke-149 dan 150 harga saham Unilever tetap. Agar investor mendapatkan keuntungan dari kenaikan harga saham Unilever, pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Unilever. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.13 di mana nilai p_1 sebesar 1×10^8 untuk hari ke-148 dan 99.960.008 untuk hari ke-151. Sedangkan nilai p_1 adalah 0 untuk hari ke-149 dan 150. Karena tidak ada proses penjualan saham Unilever selama 4 hari tersebut, maka nilai q_1 adalah 0.

Tabel 4.12 Harga dan *return* saham harian serta total modal investor pada hari ke-148 sampai dengan hari ke-151

Tanggal	Harga Saham			Return Saham			Total Modal Investor
	Unilever	PGN	SI	Unilever	PGN	SI	
24 Desember 2013	26100	4475	14000	0,02152	-0,00555	0	519.089.903
25 Desember 2013	26100	4475	14000	0	0	0	519.089.903
26 Desember 2013	26100	4475	14000	0	0	0	519.089.903
27 Desember 2013	26600	4400	14050	0,01915	-0,01675	0,00357	524.074.950

Tabel 4.13 Nilai x_1 , p_1 , q_1 , x_2 , p_2 , q_2 , x_3 , p_3 , q_3 dan x_4 pada hari ke-148 sampai dengan hari ke-151

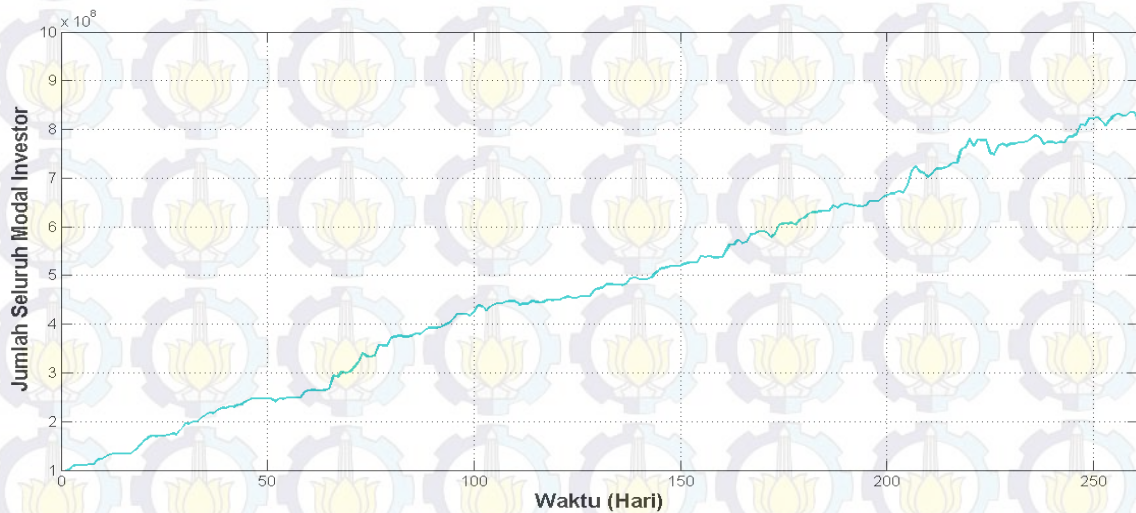
Variabel	Tanggal			
	24 Desember 2013	25 Desember 2013	26 Desember 2013	27 Desember 2013
x_1	103.514.835	103.514.835	103.514.835	207.372.828
p_1	100.000.000	0	0	99.960.008
q_1	0	0	0	0
x_2	0	0	0	0
p_2	0	0	0	0
q_2	3.779.422	0	0	0
x_3	415.575.068	415.575.068	415.575.068	316.702.121
p_3	0	0	0	0
q_3	96.260.586	0	0	100.000.000
x_4	0	0	0	0

Harga saham PGN menunjukkan tren turun pada hari ke-148 sampai dengan hari ke-151, sehingga untuk menghindarkan investor dari kerugian yang terlalu besar pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham PGN. Berdasarkan Tabel 4.13, terlihat nilai p_2 dan q_2 untuk hari ke-148 sampai dengan hari ke-151 adalah 0, yang berarti tidak ada proses jual beli untuk saham PGN. Ketika harga saham PGN kembali naik pada hari ke-152, didapatkan nilai p_2 adalah 1×10^8 , hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham PGN.

Pada hari ke-148 ketika *return* saham Semen Indonesia bernilai 0, pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Semen Indonesia dan dana hasil penjualan tersebut digunakan untuk membeli saham Unilever. Ketika nilai saham Semen Indonesia tetap pada hari ke-149 dan hari ke-150, pengontrol MPC memutuskan untuk tidak melakukan proses jual beli saham Semen Indonesia. Pada hari ke-151 *return* saham Semen Indonesia jauh lebih

kecil jika dibandingkan dengan *return* saham Unilever, akibatnya pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Semen Indonesia dan dana hasil penjualan tersebut digunakan untuk membeli saham Unilever. Sebagai akibat dari kontrol tersebut, maka jumlah modal investor di bank tetap mulai hari ke-148 sampai dengan hari ke-151. Jumlah seluruh modal investor tidak berubah mulai hari ke-148 sampai dengan hari ke-151 serta mengalami kenaikan pada hari ke-152.

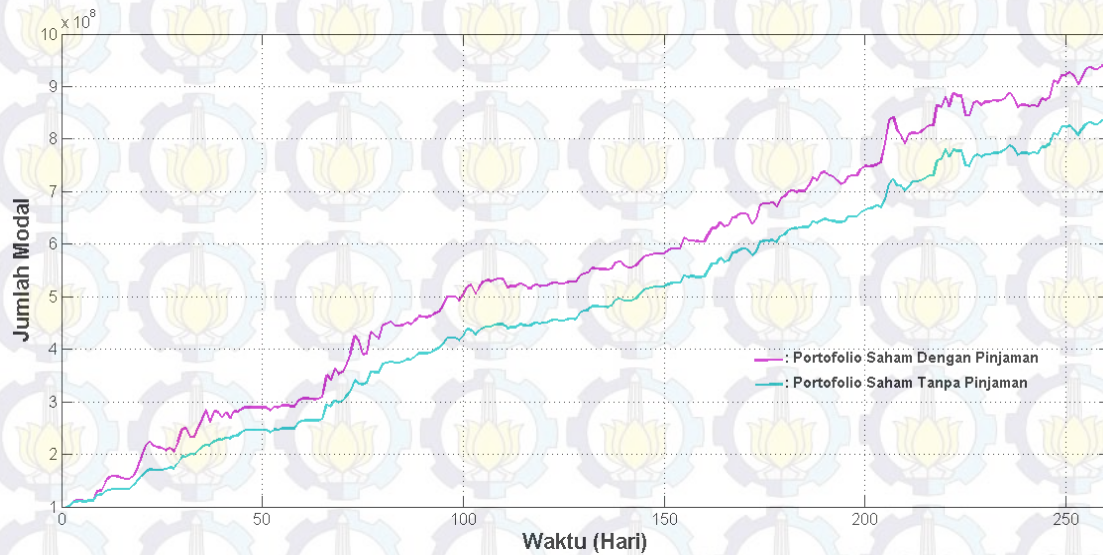
Jumlah modal yang dimiliki oleh investor pada seluruh asetnya di dalam portofolio saham tanpa pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.53.



Gambar 4.53 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada portofolio saham tanpa pinjaman

Berdasarkan Gambar 4.53, dapat dilihat bahwa modal yang dimiliki oleh investor pada seluruh asetnya mengalami kenaikan. Pada kondisi awal jumlah modal yang dimiliki investor adalah 1×10^8 , dan pada kondisi akhir jumlah modal yang dimiliki investor adalah 810.908.874. Kenaikan ini terjadi karena jumlah modal yang diinvestasikan pada portofolio saham berusaha untuk mencapai *reference trajectory* yang ditetapkan sebelumnya, yaitu 1×10^9 . Pada beberapa hari terlihat bahwa modal investor mengalami penurunan, hal ini terjadi karena pada hari tersebut *return* dari saham bernilai negatif, sehingga investor mengalami kerugian. Akan tetapi, kerugian ini dapat ditutupi oleh keuntungan di beberapa hari berikutnya, sehingga secara keseluruhan jumlah modal investor mengalami kenaikan.

Gambar 4.54 menunjukkan perbandingan jumlah seluruh modal yang dimiliki oleh investor pada portofolio saham dengan adanya pinjaman dan tanpa adanya pinjaman.

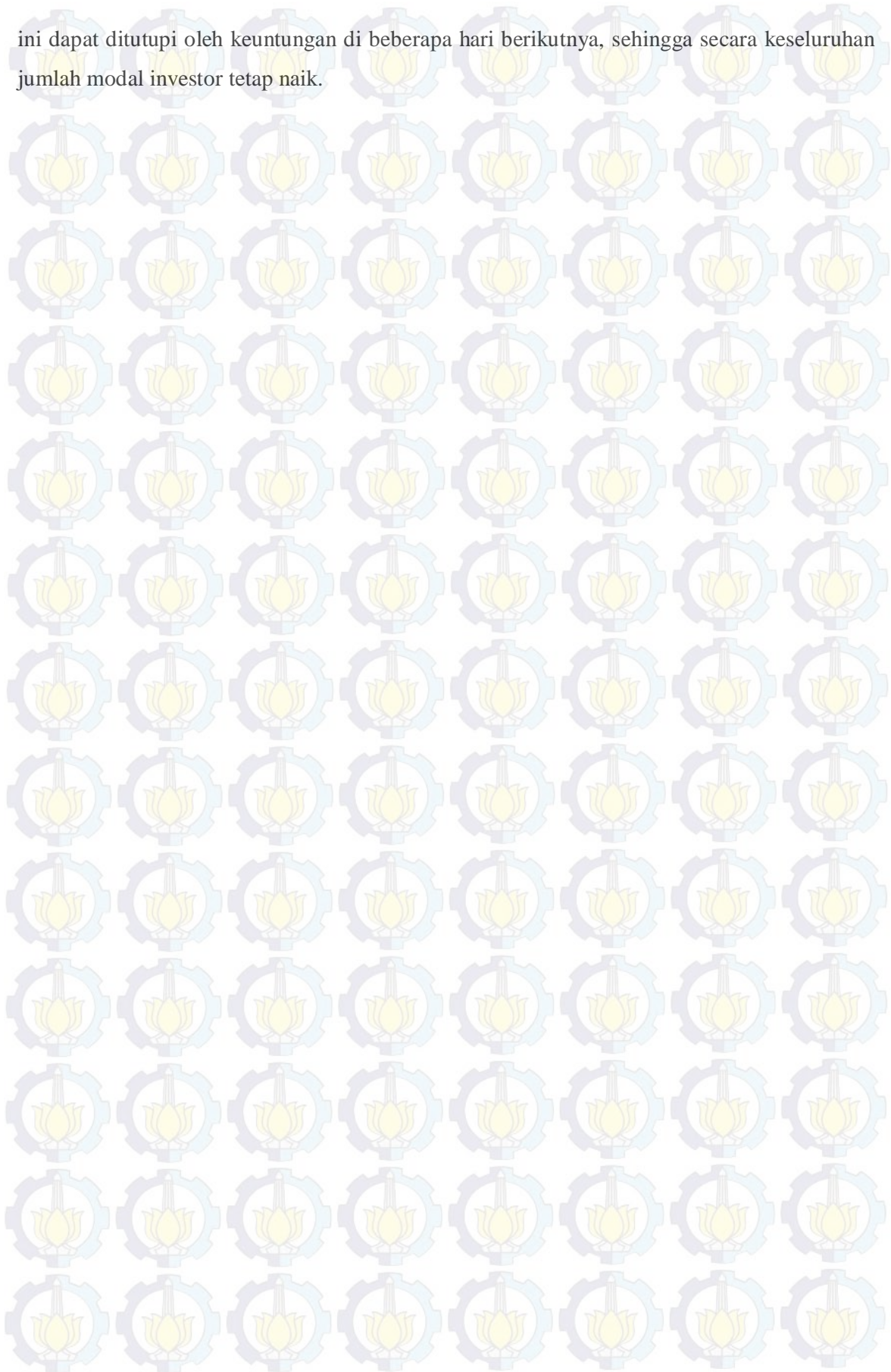


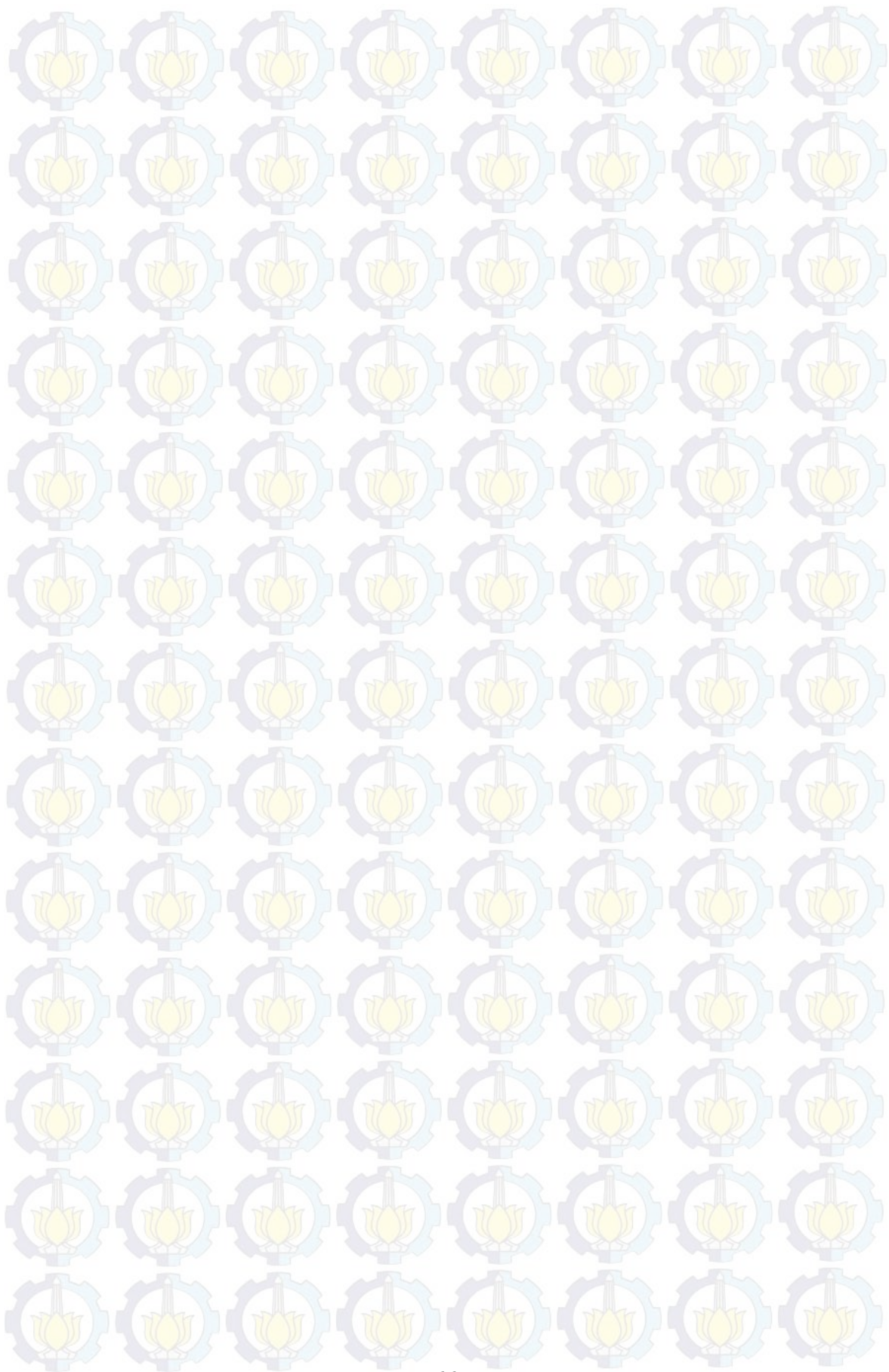
Gambar 4.54 Perbandingan jumlah seluruh modal investor pada portofolio saham dengan pinjaman dan tanpa pinjaman

Berdasarkan Gambar 4.54 terlihat bahwa portofolio saham dengan adanya pinjaman lebih menguntungkan jika dibandingkan portofolio saham tanpa adanya pinjaman. Pada portofolio saham tanpa pinjaman, investor tidak mendapatkan dana tambahan dari pinjaman sehingga jumlah dana yang digunakan untuk melakukan proses jual beli saham sangat terbatas. Akibatnya investor hanya bisa membeli maksimal 2 saham perusahaan setiap harinya dengan cara menjual saham satu perusahaan lainnya. Hal yang berbeda terjadi pada portofolio saham dengan adanya pinjaman, di mana investor bebas membeli saham dari 3 perusahaan sekaligus tanpa takut kekurangan modal. Sebagai akibat dari terbatasnya dana yang dimiliki oleh investor pada portofolio saham tanpa pinjaman, maka jumlah modal yang dimiliki oleh investor pada portofolio saham tanpa pinjaman lebih sedikit jika dibandingkan dengan portofolio saham dengan pinjaman.

Pada kondisi awal jumlah modal yang dimiliki investor adalah 1×10^8 . Pada kondisi akhir jumlah modal yang dimiliki investor pada portofolio dengan pinjaman adalah 902.073.382, sedangkan jumlah modal investor pada portofolio tanpa adanya pinjaman adalah 810.908.874. Secara umum jumlah modal investor pada beberapa hari mengalami penurunan akibat penurunan harga saham, sehingga investor mengalami kerugian. Akan tetapi, kerugian

ini dapat ditutupi oleh keuntungan di beberapa hari berikutnya, sehingga secara keseluruhan jumlah modal investor tetap naik.





BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini disimpulkan hasil analisis pengendali dengan metode *model predictive control* (MPC) pada permasalahan optimisasi portofolio saham beserta simulasinya menggunakan *software* MATLAB. Selain itu diberikan saran atau rekomendasi untuk penelitian berikutnya.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis pengendali MPC beserta simulasinya, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengendali *model predictive control* (MPC) dapat diterapkan dengan baik pada permasalahan optimisasi portofolio saham baik dengan pinjaman maupun tanpa pinjaman. MPC dapat memberikan nilai kontrol yang optimal dengan adanya kendala pada *state* dan kontrol pada sistem. Seluruh nilai kontrol berada pada batasan *constraint* yang diberikan. Pengontrol MPC berusaha untuk mengurangi kerugian yang akan terjadi pada investor ketika harga saham pada salah satu perusahaan mengalami penurunan. Selain itu pengontrol MPC bertindak sebagai pengambil keputusan mengenai kapan waktu yang tepat untuk meminjam modal dan kapan waktu yang tepat untuk mengembalikan pinjaman modal pada portofolio saham dengan pinjaman. Ketika jumlah uang di bank akan mencapai 0, pada saat itu investor membutuhkan tambahan modal untuk menutupi biaya transaksi yang diperlukan dalam membentuk portofolio saham. Dengan demikian pengontrol MPC akan memutuskan untuk meminjam sejumlah uang agar dapat menutupi seluruh biaya transaksi yang digunakan pada portofolio saham. Jumlah modal yang dimiliki oleh investor yang merupakan *output* dari sistem mengalami kenaikan setiap harinya.
2. Hasil simulasi dengan MPC pada portofolio saham dengan atau tanpa pinjaman, terlihat bahwa seluruh nilai p_i dan q_i , untuk $i = 1, 2, 3$, berada dalam batasan *constraint* yang ditetapkan yaitu antara 0 dan 1×10^8 . Selain itu nilai kontrol $v(k)$ juga berada dalam batasan *constraint* yaitu antara -1×10^8 dan 1×10^8 . Dari hasil simulasi terlihat bahwa nilai *return* saham harian berpengaruh terhadap jumlah modal yang diinvestasikan pada masing-masing saham setiap harinya. Pada kondisi awal jumlah modal yang dimiliki

investor adalah 1×10^8 . Pada kondisi akhir jumlah modal yang dimiliki investor pada portofolio saham dengan pinjaman adalah 902.073.382, sedangkan jumlah modal investor pada portofolio saham tanpa adanya pinjaman adalah 810.908.874. Kenaikan ini terjadi karena jumlah modal yang diinvestasikan pada portofolio saham berusaha untuk mencapai *reference trajectory* yang ditetapkan sebelumnya, yaitu 10×10^8 . Secara umum jumlah modal investor pada beberapa hari mengalami penurunan akibat penurunan harga saham, sehingga investor mengalami kerugian. Akan tetapi, kerugian ini dapat ditutupi oleh keuntungan di beberapa hari berikutnya, sehingga secara keseluruhan jumlah modal investor tetap naik.

5.2 Saran

Saran yang penulis berikan untuk penelitian berikutnya adalah :

1. Pada tesis ini penulis mempertimbangkan kendala yang terdapat pada transfer dana dari dan ke dalam aset bebas risiko, transfer dana dari dan ke rekening pinjaman, jumlah maksimum dana pinjaman, serta jumlah minimum dana di aset saham dan bank. Pada penelitian berikutnya dapat dipertimbangkan penambahan kendala *Value at Risk* (VaR) pada sistem manajemen portofolio saham. Tujuannya adalah mempertimbangkan pengukuran risiko investasi dalam pembentukan portofolio saham.
2. Pada penelitian ini penulis menggunakan data *return* saham harian dari ketiga perusahaan sebagai salah satu variabel pembentuk matriks ruang keadaan. Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan metode estimasi untuk menghitung nilai saham harian dan *return* saham harian sehingga diperoleh matriks persamaan ruang keadaan hasil estimasi yang selanjutnya dapat digabungkan dengan metode optimasi untuk mendapatkan portofolio saham yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Halim, A. (2003), *Analisis Investasi*, Salemba Empat, Jakarta.
- [2] Bordons, C. & Camacho, E. F. (1999), *Model Predictive Control*, Springer-Verlag London Limited, Sevilla.
- [3] Subchan, Syaifudin, W.H. dan Asfihani, T. (2014), "Ship Heading Control of Corvette Sigma With Disturbance Using Model Predictive Control", *Far East Journal of Applied Mathematics*, Vol. 87, No 3, hal. 245-256.
- [4] Yuninda, N.H. (2008), *Simulasi Pengendalian Kadar Glukosa Penderita Diabetes Mellitus Tipe 1 Berbasis Metode Aktif Set Model Predictive Control (MPC) Dengan Constraints*. Tesis Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana Bidang Ilmu Teknik, Prodi Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [5] Seki, H., dkk. (2001), "Industrial Application Of Nonlinear Model Predictive Control to Polymerization Reactors", *Journal of Control Engineering Practice*, Vol 9, hal. 819-828.
- [6] Markowitz, H. (1952), "Portfolio Selection", *Journal of Finance*, Vol. 7, No. 1, hal. 77-91.
- [7] Primbs, J.A. (2007), "Portfolio Optimization Applications of Stochastic Receding Horizon Control", *Proceedings of the 2007 American Control Conference*, hal. 1811-1816.
- [8] Husnan, S. (2001), *Dasar-Dasar Teori Portofolio dan Analisis Sekuritas*, Edisi Ketiga, UPP AMP YKPN, Yogyakarta.
- [9] Yuliati, S.H., dkk. (1996), *Manajemen Portofolio dan Analisis Investasi*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [10] Dombrovskiy, V.V, Dombrovskiy, D.V, dan Lyashenko, E.A. (2004), "Investment Portfolio Optimization with Transaction Costs and Constraints Using Model Predictive Control", *KORUS 2004 Proceedings The 8th Russian-Korean International Symposium*, Vol. 3, hal 202-205.
- [11] Wang, J., dkk. (2007), "An Experiment of Control-theoretical Model in Dynamic Portfolio Management", *Innovative Computing, Information and Control, ICICIC '07. Second International Conference*, hal. 114.
- [12] Wang, L. (2009), *Model Predictive Control System Design and Implementation using MATLAB*, Springer, Melbourne.

[13]Anonim, (2014), *Data Saham Harian Unilever, Perusahaan Gas Negara, dan Semen Indonesia*, Diakses pada Tanggal 10 Desember 2014. Data ini dapat didownload di website: <http://www.finance.yahoo.com>

LAMPIRAN

A. Data Saham Harian Unilever

Tanggal	Harga Closing Saham Harian	Return
31/05/2013	30500	
03/06/2013	29050	-0,047540984
04/06/2013	31300	0,077452668
05/06/2013	31000	-0,009584665
06/06/2013	31000	0
07/06/2013	28900	-0,067741935
10/06/2013	27700	-0,041522491
11/06/2013	26900	-0,028880866
12/06/2013	29450	0,094795539
13/06/2013	27800	-0,056027165
14/06/2013	28850	0,037769784
17/06/2013	28900	0,001733102
18/06/2013	29500	0,020761246
19/06/2013	29000	-0,016949153
20/06/2013	27550	-0,05
21/06/2013	27250	-0,010889292
24/06/2013	26400	-0,031192661
25/06/2013	26000	-0,015151515
26/06/2013	28000	0,076923077
27/06/2013	29400	0,05
28/06/2013	30750	0,045918367
01/07/2013	29550	-0,03902439
02/07/2013	29950	0,013536379
03/07/2013	28300	-0,05509182
04/07/2013	28200	-0,003533569
05/07/2013	29300	0,039007092
08/07/2013	28000	-0,044368601
09/07/2013	27850	-0,005357143
10/07/2013	29400	0,055655296
11/07/2013	31650	0,076530612
12/07/2013	31000	-0,020537125
15/07/2013	31750	0,024193548
16/07/2013	31750	0
17/07/2013	32900	0,036220472
18/07/2013	33900	0,030395137
19/07/2013	34600	0,020648968
22/07/2013	33000	-0,046242775
23/07/2013	34000	0,03030303
24/07/2013	34000	0

25/07/2013	32850	-0,033823529
26/07/2013	32950	0,00304414
29/07/2013	31800	-0,034901366
30/07/2013	32200	0,012578616
31/07/2013	31800	-0,01242236
01/08/2013	31950	0,004716981
02/08/2013	31450	-0,015649452
05/08/2013	31450	0
06/08/2013	31450	0
07/08/2013	31450	0
08/08/2013	31450	0
09/08/2013	31450	0
12/08/2013	30000	-0,046104928
13/08/2013	31350	0,045
14/08/2013	31250	-0,003189793
15/08/2013	30700	-0,0176
16/08/2013	30700	0
19/08/2013	29200	-0,048859935
20/08/2013	28900	-0,010273973
21/08/2013	29500	0,020761246
22/08/2013	29750	0,008474576
23/08/2013	29000	-0,025210084
26/08/2013	28300	-0,024137931
27/08/2013	27850	-0,01590106
28/08/2013	28000	0,005385996
29/08/2013	28350	0,0125
30/08/2013	31200	0,100529101
02/09/2013	30600	-0,019230769
03/09/2013	31500	0,029411765
04/09/2013	30550	-0,03015873
05/09/2013	31000	0,014729951
06/09/2013	31900	0,029032258
09/09/2013	32000	0,003134796
10/09/2013	33000	0,03125
11/09/2013	33000	0
12/09/2013	30850	-0,065151515
13/09/2013	30700	-0,004862237
16/09/2013	32150	0,04723127
17/09/2013	31500	-0,020217729
18/09/2013	30750	-0,023809524
19/09/2013	31600	0,027642276
20/09/2013	32000	0,012658228
23/09/2013	31950	-0,0015625
24/09/2013	31500	-0,014084507
25/09/2013	31500	0

26/09/2013	30800	-0,022222222
27/09/2013	30950	0,00487013
30/09/2013	30150	-0,025848142
01/10/2013	30300	0,004975124
02/10/2013	31000	0,02310231
03/10/2013	30900	-0,003225806
04/10/2013	30700	-0,006472492
07/10/2013	30300	-0,013029316
08/10/2013	30450	0,004950495
09/10/2013	30250	-0,006568144
10/10/2013	30300	0,001652893
11/10/2013	30750	-0,014851485
14/10/2013	30750	0
15/10/2013	30750	0
16/10/2013	30100	-0,021138211
17/10/2013	30600	0,016611296
18/10/2013	30800	0,006535948
21/10/2013	31500	0,022727273
22/10/2013	30800	-0,022222222
23/10/2013	31700	0,029220779
24/10/2013	32150	0,014195584
25/10/2013	32050	-0,00311042
28/10/2013	32000	-0,001560062
29/10/2013	31800	-0,00625
30/10/2013	31250	-0,017295597
31/10/2013	30000	-0,04
01/11/2013	29800	-0,006666667
04/11/2013	29850	0,001677852
05/11/2013	29850	0
06/11/2013	30800	0,031825796
07/11/2013	30200	-0,019480519
08/11/2013	30150	-0,001655629
11/11/2013	29800	-0,011608624
12/11/2013	29800	0
13/11/2013	29600	-0,006711409
14/11/2013	29900	0,010135135
15/11/2013	29000	-0,030100334
18/11/2013	29500	0,017241379
19/11/2013	29200	-0,010169492
20/11/2013	28700	-0,017123288
21/11/2013	27550	-0,040069686
22/11/2013	27450	-0,003629764
25/11/2013	27800	0,012750455
26/11/2013	26000	-0,064748201
27/11/2013	26700	0,026923077

28/11/2013	26650	-0,001872659
29/11/2013	26600	-0,001876173
02/12/2013	27050	0,016917293
03/12/2013	26250	-0,029574861
04/12/2013	25800	-0,017142857
05/12/2013	25500	-0,011627907
06/12/2013	25500	0
09/12/2013	26250	0,029411765
10/12/2013	26800	0,020952381
11/12/2013	26600	-0,007462687
12/12/2013	26500	-0,003759398
13/12/2013	25950	-0,020754717
16/12/2013	25750	-0,007707129
17/12/2013	26000	0,009708738
18/12/2013	25900	-0,003846154
19/12/2013	25900	0
20/12/2013	26000	0,003861004
23/12/2013	25550	-0,017307692
24/12/2013	26100	0,021526419
25/12/2013	26100	0
26/12/2013	26100	0
27/12/2013	26600	0,019157088
30/12/2013	26000	-0,022556391
31/12/2013	26000	0
01/01/2014	26000	0
02/01/2014	26800	0,030769231
03/01/2014	26500	-0,01119403
06/01/2014	26750	0,009433962
07/01/2014	26200	-0,020560748
08/01/2014	26200	0
09/01/2014	26075	-0,004770992
10/01/2014	25900	-0,006711409
13/01/2014	27025	0,043436293
14/01/2014	27025	0
15/01/2014	28025	0,037002775
16/01/2014	27800	-0,008028546
17/01/2014	27650	-0,005395683
20/01/2014	28050	0,014466546
21/01/2014	28150	0,003565062
22/01/2014	28500	0,012433393
23/01/2014	28575	0,002631579
24/01/2014	28075	-0,017497813
27/01/2014	27125	-0,033837934
28/01/2014	27700	0,021198157
29/01/2014	28500	0,028880866

30/01/2014	28550	0,001754386
31/01/2014	28550	0
03/02/2014	28400	-0,00525394
04/02/2014	27850	-0,019366197
05/02/2014	28125	0,009874327
06/02/2014	28200	0,002666667
07/02/2014	28225	0,000886525
10/02/2014	28100	-0,004428698
11/02/2014	27600	-0,017793594
12/02/2014	28000	0,014492754
13/02/2014	28125	0,004464286
14/02/2014	28375	0,008888889
17/02/2014	28375	0
18/02/2014	28075	-0,010572687
19/02/2014	28400	0,011576135
20/02/2014	28300	-0,003521127
21/02/2014	28400	0,003533569
24/02/2014	28375	-0,000880282
25/02/2014	28400	0,000881057
26/02/2014	28025	-0,013204225
27/02/2014	28025	0
28/02/2014	28575	0,019625335
03/03/2014	28275	-0,010498688
04/03/2014	28025	-0,008841733
05/03/2014	28125	0,003568243
06/03/2014	28300	0,006222222
07/03/2014	28125	-0,006183746
10/03/2014	28250	0,004444444
11/03/2014	28475	0,007964602
12/03/2014	29000	0,018437226
13/03/2014	30300	0,044827586
14/03/2014	30875	0,018976898
17/03/2014	29725	-0,037246964
18/03/2014	28975	-0,025231287
19/03/2014	28900	-0,002588438
20/03/2014	28125	-0,026816609
21/03/2014	28125	0
24/03/2014	28300	0,006222222
25/03/2014	28250	-0,001766784
26/03/2014	28725	0,016814159
27/03/2014	28700	-0,000870322
28/03/2014	29250	0,019163763
31/03/2014	29250	0
01/04/2014	30000	0,025641026
02/04/2014	29925	-0,0025

03/04/2014	30000	0,002506266
04/04/2014	29400	-0,02
07/04/2014	29950	0,018707483
08/04/2014	29675	-0,00918197
09/04/2014	29675	0
10/04/2014	29550	-0,0042123
11/04/2014	30525	0,032994924
14/04/2014	30750	0,007371007
15/04/2014	30675	-0,002439024
16/04/2014	30100	-0,018744906
17/04/2014	30800	0,023255814
18/04/2014	30800	0
21/04/2014	30700	-0,003246753
22/04/2014	30825	0,004071661
23/04/2014	29975	-0,02757502
24/04/2014	29300	-0,022518766
25/04/2014	29025	-0,009385666
28/04/2014	28575	-0,015503876
29/04/2014	29000	0,014873141
30/04/2014	29250	0,00862069
01/05/2014	29250	0
02/05/2014	29200	-0,001709402
05/05/2014	29725	0,017979452
06/05/2014	29375	-0,011774601
07/05/2014	30225	0,02893617
08/05/2014	30400	0,005789909
09/05/2014	30750	0,011513158
12/05/2014	30575	-0,005691057
13/05/2014	30200	-0,012264922
14/05/2014	30800	0,01986755
15/05/2014	30800	0
16/05/2014	30800	0
19/05/2014	30500	-0,00974026
20/05/2014	29600	-0,029508197
21/05/2014	30000	0,013513514
22/05/2014	30025	0,000833333
23/05/2014	30025	0
26/05/2014	30125	0,003330558
27/05/2014	30125	0
28/05/2014	30200	0,002489627
29/05/2014	30200	0
30/05/2014	29125	-0,035596026

B. Data Saham Harian Perusahaan Gas Negara

Tanggal	Harga Closing Saham Harian	Return
31/05/2013	5500	
03/06/2013	5600	0,018181818
04/06/2013	5650	0,008928571
05/06/2013	5700	0,008849558
06/06/2013	5700	0
07/06/2013	5350	-0,061403509
10/06/2013	5450	0,018691589
11/06/2013	5350	-0,018348624
12/06/2013	5400	0,009345794
13/06/2013	5150	-0,046296296
14/06/2013	5300	0,029126214
17/06/2013	5400	0,018867925
18/06/2013	5500	0,018518519
19/06/2013	5300	-0,036363636
20/06/2013	5100	-0,037735849
21/06/2013	4800	-0,058823529
24/06/2013	4650	-0,03125
25/06/2013	4975	0,069892473
26/06/2013	5250	0,055276382
27/06/2013	5550	0,057142857
28/06/2013	5750	0,036036036
01/07/2013	5950	0,034782609
02/07/2013	5700	-0,042016807
03/07/2013	5750	0,00877193
04/07/2013	5750	0
05/07/2013	5550	-0,034782609
08/07/2013	5650	0,018018018
09/07/2013	5500	-0,026548673
10/07/2013	5750	0,045454545
11/07/2013	5900	0,026086957
12/07/2013	5950	0,008474576
15/07/2013	5550	-0,067226891
16/07/2013	5550	0
17/07/2013	5700	0,027027027
18/07/2013	5750	0,00877193
19/07/2013	5900	0,026086957
22/07/2013	5700	-0,033898305
23/07/2013	5800	0,01754386
24/07/2013	5650	-0,025862069
25/07/2013	5650	0
26/07/2013	5800	0,026548673

29/07/2013	5700	-0,017241379
30/07/2013	5900	0,035087719
31/07/2013	5900	0
01/08/2013	5800	-0,016949153
02/08/2013	5700	-0,017241379
05/08/2013	5700	0
06/08/2013	5700	0
07/08/2013	5700	0
08/08/2013	5700	0
09/08/2013	5700	0
12/08/2013	5500	-0,035087719
13/08/2013	5550	0,009090909
14/08/2013	5550	0
15/08/2013	5700	0,027027027
16/08/2013	5700	0
19/08/2013	5450	-0,043859649
20/08/2013	5100	-0,064220183
21/08/2013	5050	-0,009803922
22/08/2013	5200	0,02970297
23/08/2013	5250	0,009615385
26/08/2013	5250	0
27/08/2013	5200	-0,00952381
28/08/2013	5050	-0,028846154
29/08/2013	5100	0,00990099
30/08/2013	5400	0,058823529
02/09/2013	5150	-0,046296296
03/09/2013	5450	0,058252427
04/09/2013	5250	-0,036697248
05/09/2013	5100	-0,028571429
06/09/2013	5250	0,029411765
09/09/2013	5400	0,028571429
10/09/2013	5400	0
11/09/2013	5300	-0,018518519
12/09/2013	5150	-0,028301887
13/09/2013	5250	0,019417476
16/09/2013	5400	0,028571429
17/09/2013	5350	-0,009259259
18/09/2013	5250	-0,018691589
19/09/2013	5450	0,038095238
20/09/2013	5450	0
23/09/2013	5450	0
24/09/2013	5300	-0,027522936
25/09/2013	5050	-0,047169811
26/09/2013	5150	0,01980198
27/09/2013	5250	0,019417476

30/09/2013	5200	-0,00952381
01/10/2013	5300	0,019230769
02/10/2013	5350	0,009433962
03/10/2013	5300	-0,009345794
04/10/2013	5250	-0,009433962
07/10/2013	5300	0,00952381
08/10/2013	5350	0,009433962
09/10/2013	5250	-0,018691589
10/10/2013	5350	0,019047619
11/10/2013	5450	0,018691589
14/10/2013	5450	0
15/10/2013	5450	0
16/10/2013	5400	-0,009174312
17/10/2013	5450	0,009259259
18/10/2013	5350	-0,018348624
21/10/2013	5450	0,018691589
22/10/2013	5300	-0,027522936
23/10/2013	5200	-0,018867925
24/10/2013	5150	-0,009615385
25/10/2013	4975	-0,033980583
28/10/2013	5050	0,015075377
29/10/2013	5150	0,01980198
30/10/2013	5150	0
31/10/2013	5100	-0,009708738
01/11/2013	4975	-0,024509804
04/11/2013	4950	-0,005025126
05/11/2013	4950	0
06/11/2013	4975	0,005050505
07/11/2013	5000	0,005025126
08/11/2013	4925	-0,015
11/11/2013	4950	0,005076142
12/11/2013	5050	0,02020202
13/11/2013	5000	-0,00990099
14/11/2013	4925	-0,015
15/11/2013	4850	-0,015228426
18/11/2013	4925	0,015463918
19/11/2013	4900	-0,005076142
20/11/2013	4700	-0,040816327
21/11/2013	4675	-0,005319149
22/11/2013	4800	0,026737968
25/11/2013	4750	-0,010416667
26/11/2013	4450	-0,063157895
27/11/2013	4725	0,061797753
28/11/2013	4825	0,021164021
29/11/2013	4850	0,005181347

02/12/2013	4900	0,010309278
03/12/2013	4900	0
04/12/2013	4875	-0,005102041
05/12/2013	4875	0
06/12/2013	4850	-0,005128205
09/12/2013	4825	-0,005154639
10/12/2013	4850	0,005181347
11/12/2013	4875	0,005154639
12/12/2013	4750	-0,025641026
13/12/2013	4625	-0,026315789
16/12/2013	4475	-0,032432432
17/12/2013	4525	-0,011173184
18/12/2013	4600	0,016574586
19/12/2013	4575	-0,005434783
20/12/2013	4500	-0,016393443
23/12/2013	4500	0
24/12/2013	4475	-0,005555556
25/12/2013	4475	0
26/12/2013	4475	0
27/12/2013	4400	-0,016759777
30/12/2013	4475	0,017045455
31/12/2013	4475	0
01/01/2014	4475	0
02/01/2014	4600	0,027932961
03/01/2014	4550	-0,010869565
06/01/2014	4400	-0,032967033
07/01/2014	4270	-0,029545455
08/01/2014	4250	-0,004683841
09/01/2014	4280	0,007058824
10/01/2014	4435	0,036214953
13/01/2014	4420	-0,003382187
14/01/2014	4420	0
15/01/2014	4370	-0,011312217
16/01/2014	4260	-0,025171625
17/01/2014	4385	0,029342723
20/01/2014	4695	0,070695553
21/01/2014	4700	0,001064963
22/01/2014	4725	0,005319149
23/01/2014	4685	-0,008465608
24/01/2014	4700	0,003201708
27/01/2014	4560	-0,029787234
28/01/2014	4600	0,00877193
29/01/2014	4760	0,034782609
30/01/2014	4770	0,00210084
31/01/2014	4770	0

03/02/2014	4790	0,004192872
04/02/2014	4745	-0,009394572
05/02/2014	4820	0,015806112
06/02/2014	4830	0,002074689
07/02/2014	4830	0
10/02/2014	4825	-0,001035197
11/02/2014	4800	-0,005181347
12/02/2014	4805	0,001041667
13/02/2014	4790	-0,003121748
14/02/2014	4930	0,029227557
17/02/2014	4955	0,005070994
18/02/2014	4965	0,002018163
19/02/2014	5050	0,017119839
20/02/2014	5050	0
21/02/2014	5000	-0,00990099
24/02/2014	5000	0
25/02/2014	4950	-0,01
26/02/2014	4865	-0,017171717
27/02/2014	4900	0,007194245
28/02/2014	4900	0
03/03/2014	4940	0,008163265
04/03/2014	4945	0,001012146
05/03/2014	5000	0,011122346
06/03/2014	5000	0
07/03/2014	4960	-0,008
10/03/2014	4960	0
11/03/2014	4915	-0,009072581
12/03/2014	4985	0,014242116
13/03/2014	5175	0,038114343
14/03/2014	5275	0,019323671
17/03/2014	5300	0,004739336
18/03/2014	5175	-0,023584906
19/03/2014	5075	-0,019323671
20/03/2014	4880	-0,038423645
21/03/2014	5175	0,06045082
24/03/2014	4995	-0,034782609
25/03/2014	4950	-0,009009009
26/03/2014	5025	0,015151515
27/03/2014	5125	0,019900498
28/03/2014	5125	0
31/03/2014	5125	0
01/04/2014	5250	0,024390244
02/04/2014	5125	-0,023809524
03/04/2014	5150	0,004878049
04/04/2014	5125	-0,004854369

07/04/2014	5325	0,03902439
08/04/2014	5275	-0,009389671
09/04/2014	5275	0
10/04/2014	5200	-0,014218009
11/04/2014	5275	0,014423077
14/04/2014	5325	0,009478673
15/04/2014	5400	0,014084507
16/04/2014	5250	-0,027777778
17/04/2014	5350	0,019047619
18/04/2014	5350	0
21/04/2014	5400	0,009345794
22/04/2014	5400	0
23/04/2014	5425	0,00462963
24/04/2014	5475	0,00921659
25/04/2014	5525	0,00913242
28/04/2014	5475	-0,009049774
29/04/2014	5300	-0,03196347
30/04/2014	5325	0,004716981
01/05/2014	5325	0
02/05/2014	5300	-0,004694836
05/05/2014	5275	-0,004716981
06/05/2014	5275	0
07/05/2014	5350	0,014218009
08/05/2014	5275	-0,014018692
09/05/2014	5275	0
12/05/2014	5475	0,037914692
13/05/2014	5450	-0,00456621
14/05/2014	5475	0,004587156
15/05/2014	5475	0
16/05/2014	5525	0,00913242
19/05/2014	5575	0,009049774
20/05/2014	5475	-0,01793722
21/05/2014	5600	0,02283105
22/05/2014	5725	0,022321429
23/05/2014	5750	0,004366812
26/05/2014	5700	-0,008695652
27/05/2014	5700	0
28/05/2014	5725	0,004385965
29/05/2014	5725	0
30/05/2014	5425	-0,052401747

C. Data Saham Harian Semen Indonesia

Tanggal	Harga Closing Saham Harian	Return
31/05/2013	18000	
03/06/2013	17700	-0,016666667
04/06/2013	17550	-0,008474576
05/06/2013	17450	-0,005698006
06/06/2013	17450	0
07/06/2013	16100	-0,077363897
10/06/2013	16300	0,01242236
11/06/2013	15300	-0,061349693
12/06/2013	16550	0,081699346
13/06/2013	16700	0,009063444
14/06/2013	17600	0,053892216
17/06/2013	17950	0,019886364
18/06/2013	17850	-0,005571031
19/06/2013	17800	-0,00280112
20/06/2013	17500	-0,016853933
21/06/2013	16100	-0,08
24/06/2013	15600	-0,031055901
25/06/2013	15600	0
26/06/2013	16350	0,048076923
27/06/2013	16500	0,009174312
28/06/2013	17100	0,036363636
01/07/2013	16900	-0,011695906
02/07/2013	17050	0,00887574
03/07/2013	16000	-0,061583578
04/07/2013	15650	-0,021875
05/07/2013	15600	-0,003194888
08/07/2013	15000	-0,038461538
09/07/2013	14850	-0,01
10/07/2013	15000	0,01010101
11/07/2013	15250	0,016666667
12/07/2013	15350	0,006557377
15/07/2013	15000	-0,022801303
16/07/2013	15000	0
17/07/2013	15050	0,003333333
18/07/2013	14750	-0,019933555
19/07/2013	14600	-0,010169492
22/07/2013	14500	-0,006849315
23/07/2013	15100	0,04137931
24/07/2013	15350	0,016556291
25/07/2013	15300	-0,003257329
26/07/2013	15350	0,003267974

29/07/2013	15100	-0,016286645
30/07/2013	15100	0
31/07/2013	15200	0,006622517
01/08/2013	15650	0,029605263
02/08/2013	15900	0,015974441
05/08/2013	15900	0
06/08/2013	15900	0
07/08/2013	15900	0
08/08/2013	15900	0
09/08/2013	15900	0
12/08/2013	15350	-0,034591195
13/08/2013	15500	-0,009771987
14/08/2013	15400	-0,006451613
15/08/2013	15300	-0,006493506
16/08/2013	14800	-0,032679739
19/08/2013	13100	-0,114864865
20/08/2013	12450	-0,049618321
21/08/2013	13500	0,084337349
22/08/2013	13300	-0,014814815
23/08/2013	13450	0,011278195
26/08/2013	12700	-0,055762082
27/08/2013	12050	-0,051181102
28/08/2013	12000	-0,004149378
29/08/2013	12050	0,004166667
30/08/2013	12600	0,045643154
02/09/2013	12300	-0,023809524
03/09/2013	12450	0,012195122
04/09/2013	12300	-0,012048193
05/09/2013	12350	0,004065041
06/09/2013	12550	0,016194332
09/09/2013	13500	0,075697211
10/09/2013	14500	0,074074074
11/09/2013	13750	-0,051724138
12/09/2013	13400	-0,025454545
13/09/2013	13500	0,007462687
16/09/2013	14500	0,074074074
17/09/2013	14400	-0,006896552
18/09/2013	14100	-0,020833333
19/09/2013	15200	0,078014184
20/09/2013	15050	-0,009868421
23/09/2013	15300	0,016611296
24/09/2013	14650	-0,04248366
25/09/2013	14300	-0,023890785
26/09/2013	13900	-0,027972028
27/09/2013	13800	-0,007194245

30/09/2013	13000	-0,057971014
01/10/2013	13300	0,023076923
02/10/2013	13300	0
03/10/2013	13500	0,015037594
04/10/2013	12900	-0,044444444
07/10/2013	12800	-0,007751938
08/10/2013	13150	0,02734375
09/10/2013	13600	0,034220532
10/10/2013	13850	0,018382353
11/10/2013	14250	0,028880866
14/10/2013	14250	0
15/10/2013	14250	0
16/10/2013	13950	-0,021052632
17/10/2013	14250	0,021505376
18/10/2013	14700	0,031578947
21/10/2013	14500	-0,013605442
22/10/2013	13950	-0,037931034
23/10/2013	14150	0,014336918
24/10/2013	14300	0,010600707
25/10/2013	14400	0,006993007
28/10/2013	14300	-0,006944444
29/10/2013	14300	0
30/10/2013	14350	0,003496503
31/10/2013	14350	0
01/11/2013	13900	-0,031358885
04/11/2013	13950	0,003597122
05/11/2013	13950	0
06/11/2013	13900	-0,003584229
07/11/2013	13850	-0,003597122
08/11/2013	13600	-0,018050542
11/11/2013	13500	-0,007352941
12/11/2013	13450	-0,003703704
13/11/2013	12900	-0,040892193
14/11/2013	13050	0,011627907
15/11/2013	12950	-0,007662835
18/11/2013	13150	0,015444015
19/11/2013	13250	0,007604563
20/11/2013	12900	-0,026415094
21/11/2013	12900	0
22/11/2013	12950	0,003875969
25/11/2013	12850	-0,007722008
26/11/2013	12600	-0,019455253
27/11/2013	12900	0,023809524
28/11/2013	12850	-0,003875969
29/11/2013	12800	-0,003891051

02/12/2013	13150	0,02734375
03/12/2013	13050	-0,007604563
04/12/2013	12800	-0,019157088
05/12/2013	12750	-0,00390625
06/12/2013	12750	0
09/12/2013	12800	0,003921569
10/12/2013	13150	0,02734375
11/12/2013	13250	0,007604563
12/12/2013	13050	-0,01509434
13/12/2013	13000	-0,003831418
16/12/2013	12900	-0,007692308
17/12/2013	13150	0,019379845
18/12/2013	13500	0,02661597
19/12/2013	13900	0,02962963
20/12/2013	13950	0,003597122
23/12/2013	14000	0,003584229
24/12/2013	14000	0
25/12/2013	14000	0
26/12/2013	14000	0
27/12/2013	14050	0,003571429
30/12/2013	14150	0,007117438
31/12/2013	14150	0
01/01/2014	14150	0
02/01/2014	14500	0,024734982
03/01/2014	14350	-0,010344828
06/01/2014	14300	-0,003484321
07/01/2014	14275	-0,001748252
08/01/2014	14125	-0,010507881
09/01/2014	14100	-0,001769912
10/01/2014	14900	0,056737589
13/01/2014	15525	0,041946309
14/01/2014	15525	0
15/01/2014	15675	0,009661836
16/01/2014	15200	-0,03030303
17/01/2014	15200	0
20/01/2014	15075	-0,008223684
21/01/2014	14975	-0,006633499
22/01/2014	14675	-0,020033389
23/01/2014	14900	0,015332198
24/01/2014	14550	-0,023489933
27/01/2014	13975	-0,0395189
28/01/2014	14000	0,001788909
29/01/2014	14400	0,028571429
30/01/2014	14200	-0,013888889
31/01/2014	14200	0

03/02/2014	14000	-0,014084507
04/02/2014	13875	-0,008928571
05/02/2014	14425	0,03963964
06/02/2014	14550	0,008665511
07/02/2014	14950	0,027491409
10/02/2014	15075	0,008361204
11/02/2014	15100	0,001658375
12/02/2014	15100	0
13/02/2014	15100	0
14/02/2014	14850	-0,016556291
17/02/2014	15225	0,025252525
18/02/2014	15000	-0,014778325
19/02/2014	15000	0
20/02/2014	15100	0,006666667
21/02/2014	15075	-0,001655629
24/02/2014	14900	-0,011608624
25/02/2014	14650	-0,016778523
26/02/2014	14375	-0,018771331
27/02/2014	14450	0,005217391
28/02/2014	15000	0,038062284
03/03/2014	14700	-0,02
04/03/2014	14700	0
05/03/2014	14875	0,011904762
06/03/2014	15100	0,01512605
07/03/2014	15300	0,013245033
10/03/2014	15300	0
11/03/2014	15450	0,009803922
12/03/2014	15125	-0,021035599
13/03/2014	15100	-0,001652893
14/03/2014	16000	0,059602649
17/03/2014	16500	0,03125
18/03/2014	16075	-0,025757576
19/03/2014	16000	-0,00466563
20/03/2014	15300	-0,04375
21/03/2014	15400	0,006535948
24/03/2014	15750	0,022727273
25/03/2014	15750	0
26/03/2014	15700	-0,003174603
27/03/2014	15700	0
28/03/2014	15800	0,006369427
31/03/2014	15800	0
01/04/2014	16500	0,044303797
02/04/2014	16600	0,006060606
03/04/2014	17000	0,024096386
04/04/2014	16625	-0,022058824

07/04/2014	16850	0,013533835
08/04/2014	16800	-0,002967359
09/04/2014	16800	0
10/04/2014	15675	-0,066964286
11/04/2014	15325	-0,022328549
14/04/2014	15925	0,039151713
15/04/2014	15925	0
16/04/2014	15950	0,001569859
17/04/2014	15825	-0,007836991
18/04/2014	15825	0
21/04/2014	15775	-0,003159558
22/04/2014	15700	-0,004754358
23/04/2014	15700	0
24/04/2014	15525	-0,011146497
25/04/2014	15700	0,011272142
28/04/2014	15425	-0,017515924
29/04/2014	14975	-0,02917342
30/04/2014	14850	-0,008347245
01/05/2014	14850	0
02/05/2014	14600	-0,016835017
05/05/2014	14675	0,005136986
06/05/2014	14525	-0,010221465
07/05/2014	14275	-0,017211704
08/05/2014	14700	0,029772329
09/05/2014	14800	0,006802721
12/05/2014	15600	0,054054054
13/05/2014	15600	0
14/05/2014	15950	0,022435897
15/05/2014	15950	0
16/05/2014	15950	0
19/05/2014	15275	-0,042319749
20/05/2014	14850	-0,027823241
21/05/2014	14975	0,008417508
22/05/2014	14950	-0,001669449
23/05/2014	15025	0,005016722
26/05/2014	15000	-0,001663894
27/05/2014	15000	0
28/05/2014	15225	0,015
29/05/2014	15225	0
30/05/2014	14725	-0,032840722

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 29 Agustus 1992, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Kutisari 1 Surabaya (1998-2004), SMPN 12 Surabaya (2004-2007), dan SMAN 15 Surabaya (2007-2009). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 Jurusan Matematika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui Jalur PMDK reguler tahun 2009 dan terdaftar dengan NRP 1209 100 009. Di Jurusan Matematika ini penulis mengambil Bidang Studi Pemodelan dan Simulasi Sistem. Penulis aktif di beberapa organisasi intra kampus diantaranya : Himpunan Mahasiswa Matematika (HIMATIKA) sebagai staf Departemen PPA periode 2010-2011 dan staf Departemen Kesma periode 2011-2012 serta Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA sebagai staf Departemen PSDM periode 2010-2011 dan menteri Departemen PSDM periode 2011-2012. Penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan pelatihan kemahasiswaan, diantaranya LKMM Pra TD FMIPA 2009, LKMM TD Himatika 2010, Pelatihan Pemandu LKMM 2010, LKMM TM FMIPA 2011, dan LKMM TL ITS 2012. Disamping itu, sejak semester 5 penulis dipercaya menjadi asisten dosen matakuliah kalkulus I dan kalkulus II. Pada tahun 2013 penulis berhasil lulus dari Jurusan Matematika ITS dengan tugas akhir yang berjudul “Penerapan *Model Predictive Control* (MPC) Pada Kendali Haluan Kapal”. Setelah menempuh pendidikan S1, selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan magister pada Program Pascasarjana Matematika ITS 2013 dan terdaftar dengan NRP 1213 201 050. Dalam 4 semester menempuh program magister penulis mengambil Bidang Studi Pemodelan dan Simulasi Sistem.

Kritik, saran, maupun pertanyaan serta informasi lebih lengkap mengenai tesis ini dapat ditujukan ke alamat email : wawan.hafid@gmail.com.

